அணுக்கரு பௌதிகம்

(உட்கரு பௌதிகம்)

சென்னைப் பல்கலைக் கழகப் பரிசு பெற்ற நூல்

பேராசிரியர்:
ந. சுப்பு ரெட்டியார், எம்.ஏ., பி.எஸ்சி., எல்.டி.,
தமிழ்த்துறைத் தலைவர்
திருவேங்கடவன் பல்கலைக் கழகம், திருப்பதி

தமிழ்ப் புத்தகாலயம்
576. பைகிராப்ட்ஸ் ரோடு. சென்னை-5.

முதற் பதிப்பு: ஜூலை, 1966
உரிமை பதிவு

(C) Prof. N. Subbu Reddiar, c/o Tamil Puthakalayam,
576, Pycrofts Road, Madras-5

விலை ரூ. 7-00

This Tamil translation first published in 1966
Translated from English (Nuclear Physics) by
Prof. N. SUBBU REDDIAR,
Sri Venkateswara University Tirupati (South India)

Original:
NUCLEAR PHYSICS
by
W. HEISENBERG
(Director of the Max Plauk Institute of Physics,
Gottingen)

TAMIL PUTHAKALAYAM
576, Pycrofts Road,
Triplicane : : Madras-5

அச்சிட்டோர்:
ராமன்'ஸ் பிரிண்டிங் பிரஸ்
சென்னை-17

நூல் முகம்

செடியாய வல்வினைகள் தீர்க்கும் திருமாலே
நெடியானே! வேங்கடவா! நின்கோயி லின்வாசல்
அடியாரும் வானவரும் அரம்பையரும் கிடந்தியங்கும்
படியாய்க் கிடந்துஉன் பவளவாய்க் காண்பேனே.[1]

-குலசேகராழ்வார்.

"பிறநாட்டு நல்லறிஞர் சாத்திரங்கள்
தமிழ்மொழியில் பெயர்த்தல் வேண்டும்;
இறவாத புகழுடைய புதுநூல்கள்
தமிழ்மொழியில் இயற்றல் வேண்டும்."[2]

என்ற புதுமைக் கவிஞர் பாரதியாரின் குரல் பல்லாண்டு கட்கு முன்னரே பல்கலைக்கழக மாளிகையிலும் ஒலிக்கத் தொடங்கிவிட்டது. அதன் விளைவே இம்மொழிபெயர்ப்பின் தோற்றமாகும். சுமார் பத்தாண்டுகட்கு முன்னர் சென்னைப் பல்கலைக் கழகப் பரிசினைப் பெற்ற இந்த அறிவியல் குழந்தை 'நாமகரணம்' பெற்று வெளியில் உலவ முடியாமல் இருந்த தெல்லாம் ஒரு நீண்ட கதை. அக்குழந்தை ஏழுமலையான் திருவடிவாரத்திலிருந்து உலவத் தொடங்க வேண்டும் என்ற 'ஊழ்' பெற்றிருந்தது போலும்!

இந்த மொழி பெயர்ப்பினைப் பல்கலைக் கழக நியதிப்படி ஒருவர்பின் ஒருவராக மூன்று பௌதிக அறிஞர்கள் மேற் பார்த்தனர். முதலாமவர் பரமபதம் எய்தினர்; ஏனைய இருவர் இடையில் கைவிட்டனர். என் வேண்டுகோளுக் கிணங்கி என் அருமை நண்பர் டாக்டர் மா. இராதா கிருஷ்ணன் எம். எஸ்சி., பிஎச். டி., (திருவேங்கடவன்

1. பெருமாள் திருமொழி-4. 9.
2. பாரதியார்: கவிதைகள்—தமிழ்-3.

பல்கலைக் கழகப் பௌதிகப் பேராசிரியர்) இந்த மொழி பெயர்ப்பினை முழுதும் நோக்கி அச்சேறும் தகுதி யுடையதாக்கினார். அவருக்கு என் நன்றி. திருவேங்கடவன் அருளால் அவர் மேலும் மேலும் இத்தகைய தமிழ்ப் பணி யில் ஈடுபடுவாராக.

நூற்றாண்டு விழாவினைக் கண்ட சென்னைப் பல்கலைக் கழகத்தினைப் பல துறைகளிலும் புகழுடன் விளங்கப் பேணி வளர்த்தவர்கள் அதன் துணைவேந்தர் சர். ஆ. இலக்குமண சாமி முதலியார் அவர்கள். கடந்த இருபத்தைந்து யாண்டு களாக அதனைக் கட்டிக்காத்துவரும் இவர் காலத்தில்தான் அஃது ஆல்போல் தழைத்து அருகுபோல்வேரூன்றியது. இவர் ஆட்சிப் பொறுப்பின்பொழுது தோன்றிய இந்த அறிவியல் குழந்தைக்கு இவரது நிறைந்த ஆசி உண்டு. இந்த மொழி பெயர்ப்பினை நானே வெளியிட்டுக்கொள்ள இசைவு தந்த இப்பெரியாருக்கும், அப் பல்கலைக்கழக ஆட்சிக் குழுவிற்கும் (Syndicate) என் உளங்கனிந்த நன்றி என்றும் உரியது.

தமிழில் மொழிபெயர்க்க வேண்டிய நூல்கள் எண் ணற்றவை.

புத்தம் புதிய கலைகள்-பஞ்ச
பூதச் செயல்களின் நுட்பங்கள் கூறும்
மெத்த வளருது மேற்கே;[3]

அந்த 'மேன்மை கலைகளைத்' தமிழில் 'மொழி பெயர்ப்பாகவும், முதல்நூலாகவும்' தோற்றுவித்தல் வேண் டும். மேனாட்டு மொழிகளினின்றும் அறிவியல் கருத்துக்கள் தமிழ்மொழியின்பால் வருவதற்கு 'மொழி பெயர்ப்பு சேது' ஒரு வழியாகும். இத்தகைய 'சேதுவை' அமைக்கும் பணியில் சிறியேனின் தொண்டு, 'குளித்துத்தாம் புரண்டிட்டு ஓடித், தரங்கநீர் அடைக்கல்உற்ற சலம்இலா அணிலின்'[4] தொண் டினைப் போன்றது. அந்த அணிலுக்கு இராமன் ஆசி கூறியது

---

3. பாரதியார்: கவிதைகள்—தமிழ்த்தாய்-9.
4. திருமாலை—27.

போல என் சிறிய தொண்டினுக்கு ஆசி கூறியுள்ளனர் நம் அருமை ராஜாஜி அவர்கள் தமது முன்னுரையின் மூலமாக. சில ஆண்டுகட்கு முன்னர் அணுவாற்றலை நன்முறையில் பயன்படுத்த வேண்டும் என்று மேனாட்டு அரசியல் தலைவர் கட்கு 'செவியறிவுறுத்தும்' தூதுக் குழுவின் தலைவராகச் சென்ற ராஜாஜி அவர்கள் 'அணுக்கரு பௌதிகம்' என்ற நூலுக்கு முன்னுரை வழங்கி ஆசி கூறுவது மிகவும் பொருத்த மன்றோ? அவருடைய இந்த ஆசியை இப்பிறவியில் கிடைத் தற்கரிய பெரும் பேறாகக் கருதி அப்பேற்றினை வழங்கிய பெரியாருக்கு என் நன்றி கலந்த வணக்கத்தைப் புலப்படுத் திக்கொள்ளுகின்றேன்.

இத்தகைய பெரியாரின் ஆசியைப் பெறுவதற்கும், என் வாழ்வில் நேரிட்ட பல இடையூறுகளைக்களைந்து ஆக்கத்துறை களில் என்னைப் பணியாற்ற ஊக்குவிப்பதற்கும் பல புதிய திருப்பங்களை உண்டாக்குவதற்கும் காரணமாக இருப்பவர் கள் காரைக்குடிக் கம்பன், அண்ணல் சா. கணேசன் அவர்கள். அவர்கள் செய்துவரும் உதவிகட்கெல்லாம் என்றென்றும் கடமைப்பட்டுள்ளேன். அவர்களுக்கு என் வணக்கமும் நன்றியும் என்றும் உரியவை.

இந்த நூல் தொடக்கத்தில் ஜெர்மன் மொழியில் தோன் றியது; பிறகு ஆங்கில மொழியில் தவழ்ந்தது. அது சிறியே னைக் காரணமாகக்கொண்டு தமிழ்மொழியில் சிறுதேர் உருட்டி விளையாடுவதற்கு இசைவு தந்த அதன் உரிமையாளர் கட்கு[5] என் நன்றி என்றும் உரியது.

காலத்திற்கேற்ற நூல்களை அணி அணியாக வெளியிட் டுத் தமிழ்ப் பணி புரிந்துவரும் தமிழ்ப் புத்தகாலயம் இந்த அறிவியல் நூலையும் மனமுவந்து ஏற்று வெளியிட்டமைக்கு அதன் அதிபர் திரு. கண. முத்தையா செட்டியார் அவர்கட்கும், நூலினை அழகுற அச்சிட்டுக் கற்போர் கைகளில் கவினுடன் தவழச் செய்த இராமன்ஸ் அச்சகத்தினருக்கும் என் உளங் கனிந்த நன்றி என்றும் உரியது.

---

5. Friedr. Vieweg & Sohn-Verlag, Western Germany.

இந்நூலை யான் வெளியிட இசைவு தந்த திருவேங்கட வன் பல்கலைக் கழகத்தினருக்கு—சிறப்பாக அப் பல்கலைக் கழகத்தினைச் சீரிய முறையில் இயக்கிவரும் அதன் துணை வேந்தர் டாக்டர் V. C. வாமன்ராவ் அவர்கட்கு—என் மன முவந்த நன்றியைப் பணிவன்புடன் புலப்படுத்திக் கொள்ளு கின்றேன்.

பன்மொழிப் புலவர் உயர்திரு. தெ. பொ. மீனுட்சி சுந்தரனுர் அவர்களை அறியாதவர்களே இரார். அவர்கள் தற் காலப் புதிய துறையாம் மொழியியல் துறையின் கொடுமுடி யைக் கண்டவர்கள். பல்லாண்டுகள் சென்னை அரசினரின் தமிழ்நூல் வெளியீட்டுக் கழகத்தின் (Bureau of Tamil Publications) தலைவராக இருந்து பல துறைகளில் பல அரிய தமிழ் நூல்கள் வெளிவரக் காரணமாக இருப்பவர்கள்; சென்னைப் பல்கலைக் கழகம் ஈன்ற அருமை மகளாம் மதுரைப் பல்கலைக் கழகத்தை அதன் முதல் துணை வேந்தராக நின்று 'பால் நினைந்தூட்டும் தாயினும் சாலப் பரிந்து' வளர்க்கும் பெரியார். அவர்களின் திருவடிகளில் இந்நூலினைப் படைத் துப் பெருமைகொள்கின்றேன். அவர்களது ஆசியால் இந்நூல் தமிழ் மக்களிடையே பெருமிதத்துடன் உலவும் என்பது என் திடமான நம்பிக்கை.

என்னிடம் இயல்பான பல குறைகளிலிருந்தும் என்னை யும் ஒரு கருவியாகக்கொண்டு என்னுள்ளே நின்று என்னை இயக்கி இந்நூலை இயற்றுவித்துத் தமிழன்னையின் புதுவாழ் வில் பணியாற்ற சிறியேன் மேற்கொண்ட முயற்சியை நிறை வேற்றி வைத்த எல்லாம் வல்ல நீலமேனி நெடியோனை மனம், மொழி, மெய்களால் நினைத்து, வாழ்த்தி, வணங்கு கின்றேன்.

திருப்பதி
ஜூன் 30, 1966

ந. சுப்பு ரெட்டியார்

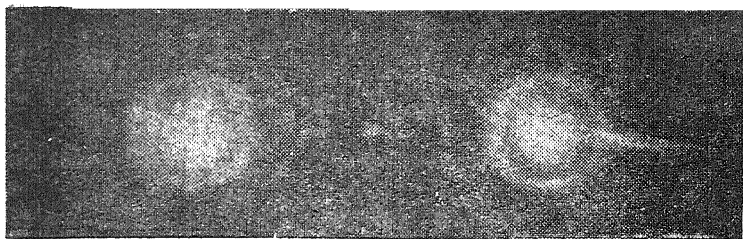
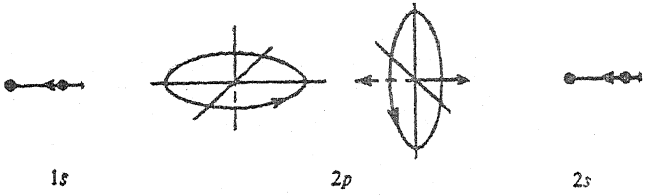
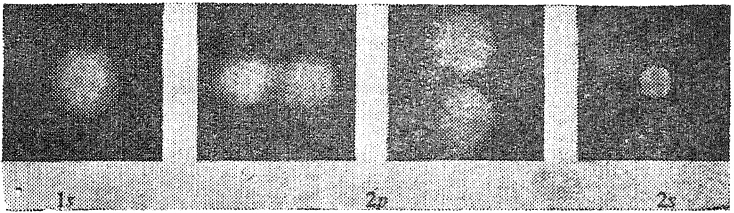
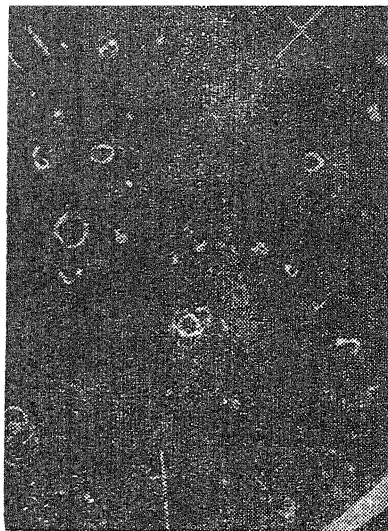
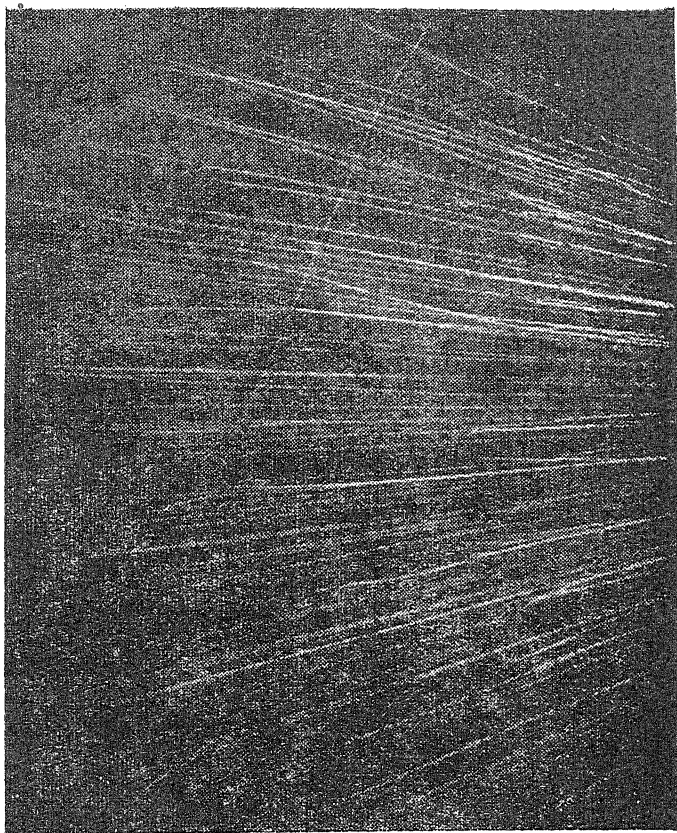
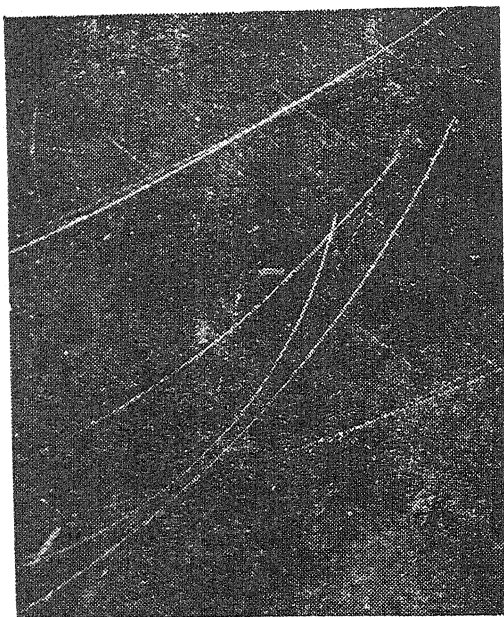
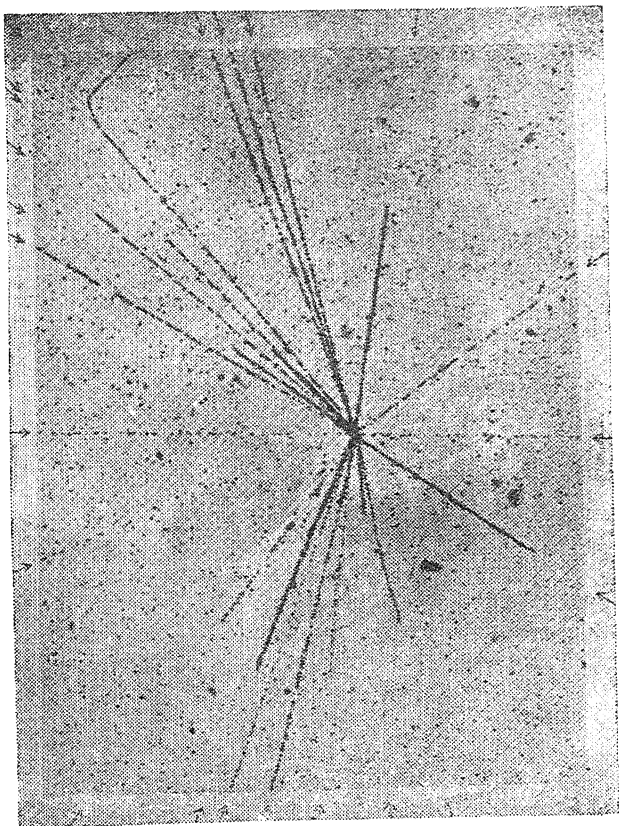
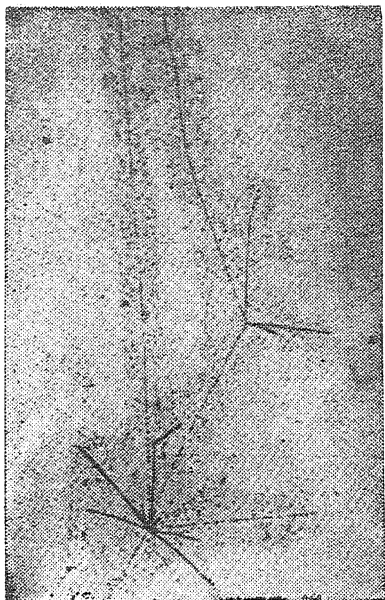
உள்ளுறை

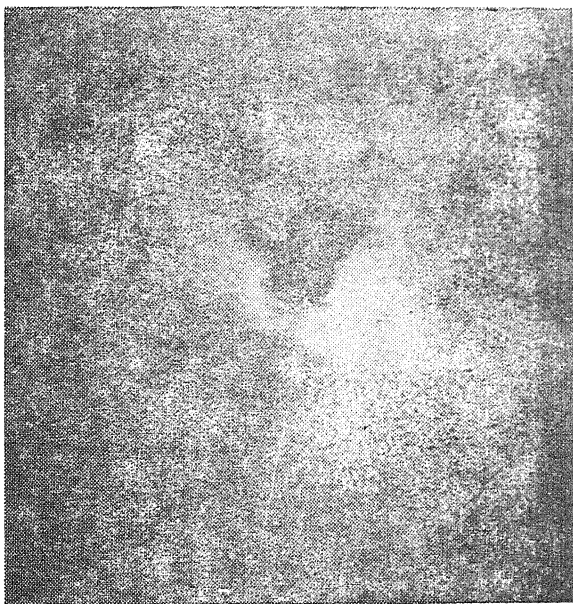
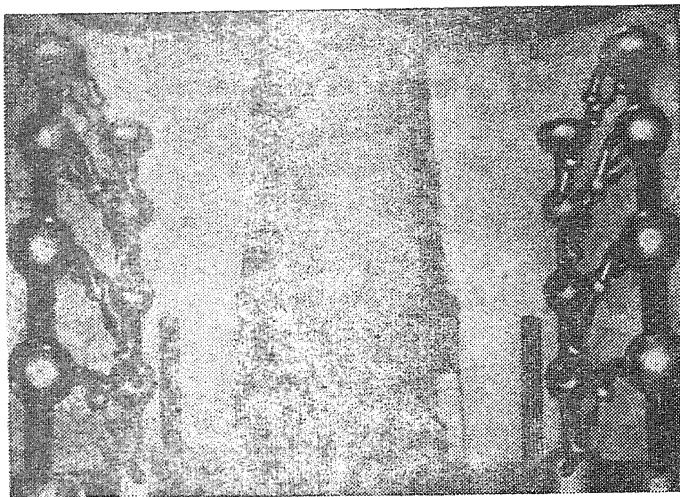
பக்கம்

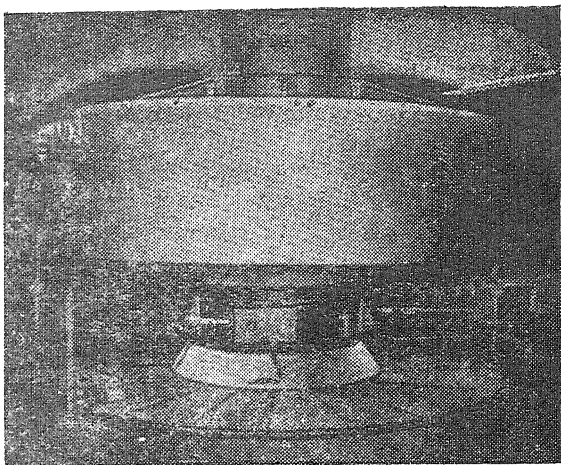
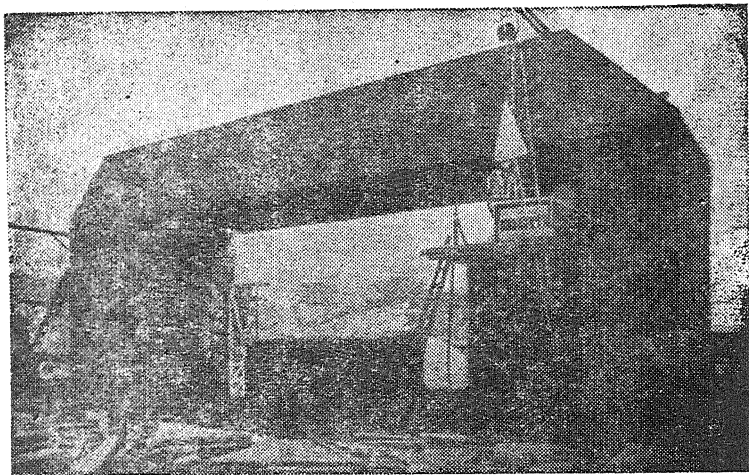
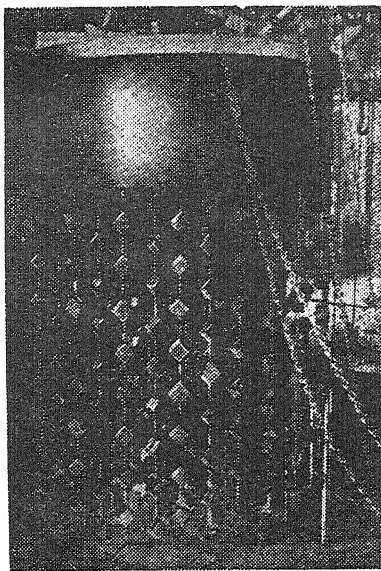
பின்னிணைப்புக்கள்

படம்—1: நீர் மூலக்கூறின் மாதிரி உருவம்
(பக்கம்-28)

படம்—3: முகில் அறையில் ஆல்ஃபாத் துகள்களின் சுவடுகளைக் காட்டுவது (பக்கம்-44)

படம்—5; ராண்ட்ஜன் கதிர்களின் தலையீட்டு வளையங்களைக் காட்டுவது (பக்கம் - 56)

படம்—6: பீட்டாக் கதிர்களின் தலையீட்டு வளையங்களைக் காட்டுவது (பக்கம் - 56)

(b)

படம்—7; அமைதி - நிலையிலும் அதிர்வு - நிலையிலும் ஹைட்ரஜன் அணுவினைக் காட்டுவது
(பக்கம் - 60)

படம்—9: முகில் அறையில் இணை உற்பத்தியைக் காட்டுவது (பக்கம் - 77)

படம்—10: ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுக்கருவாக உருமாற்றம் அடைவதைக் காட்டுவது (பக்கம் - 83)

படம்—17a: ஹைட்ரஜனில் நியூட்ரான்கள் சிதறுவதைக் காட்டுவது (பக்கம்—159)

படம்—25a: மிகப் பேராற்றலுடன் கூடிய அண்டக் கதிர்த் துகளினால் ஓர் அணுக்கரு சிதைந்தழிதலைக் காட்டுவது (பவலும் ஒக்கியலினியும் கண்டவாறு) (பக்கம்-212)

படம்—25b: முதனிலைச் சிதைந்தழிதலையும் வழிநிலைச் சிதைந் தழிதலையும் காட்டுவது. (பக்கங்கள்-212,213)

படம்—27: ஒரு புரோட்டானால் ஒரு லிதிய அணுக்கரு இரண்டு ஹீலிய அணுக்கருக்களாக உருமாற்றம் அடைவதைக் காட்டுவது. (பக்கம்—218) (கிர்ச்னெர் கண்டவாறு)

படம்—28: ஒரு புரோட்டானல் ஒரு போரன் அணுக் கரு மூன்று ஹீலிய அணுக்கருக்களாக உருமாற்றம் அடைவதைக் காட்டுவது. (பக்கம்—218)

படம்—34: பெர்லின் - டாஹெல்மிலுள்ள கெய்சர்-வில்ஹெல்ம் ஆராய்ச்சி நிலையத்தின்(மாக்ஸ் பிளாங்க் ஆராய்ச்சி நிலையத்தின்) உயர் இழுவிசை ஆக்கப்பொறி (பக்கம்—239)

படம்—36: வான்டி கிராஃபின் உயர் இழுவிசை ஆய்கருவி (பக்கம்—239)

படம்—38: சைக்ளோட்ரானைக் காட்டுவது (பக்கம் - 245)

படம்—39: மிகப் பெரிய சைக்ளோட்ரானின் காந்தத்
தைக் காட்டுவது (பக்கம்-246)

படம்—40a: யுரேனிய அடுக்கின் மாதிரி உருவத்தின் உட்புறத்தைக் காட்டுவது (பக்கம்—365).

பேராசிரியர் தெ. பொ. மீனாட்சிசுந்தரனார்
துணைவேந்தர், மதுரைப் பல்கலைக் கழகம்

அன்புப் படையல்

சீலமார் தமிழ்த்தாய் புரிதவத் துதித்தோன்;
செவ்விய நல்லுளச் செம்மல்;
ஞாலமாம் கனியின் சாறெனத் தக்க
நன்மொழி பலபல சுவைத்தோன்;
கோலமார் மதுரைப் பல்கலைக் கழகக்
கோயிலின் முதற்றுணை வேந்தன்;
தாலமீ தோங்குமீ னாட்சிசுந் தரனார்
தாள்மலர்க் குரியதிந் நூலே.

FOREWORD

I can understand the difficulties of a translator of Scientific books and I tender my congratulations to **Prof. N. Subbu Reddiar** on his having won the prize for the best translation of Heisenberg's "**Nuclear Physics.**"

Madras,
28-3-1966

C. Rajagopalachari*

*Ex-Governor-General of India.

1 பண்டிருந்து பத்தொன்பதாம் நூற்றுண்டு முடிய நிலவிய அணுக்கொள்கை

(I) பண்டை மெய்ப் பொருளியற்படி சடப்பொருளும் அணுக்களும்

முன்னுரை:

'அணுக்கரு பௌதிகம்' மிக அண்மையில் வளர்ச்சி பெற்ற பௌதிகப் பிரிவுகளில் ஒன்று. 'அணுக்கரு' என்ற சொல்லைச் சுமார் நாற்பது ஆண்டுகட்கு முன்னர் ரதர்ஃபோர்டு[1] என்பார் முதன் முதலாகக் கையாண்டார்; அணுக்களின் உட்கருக்களைப்பற்றி நாம் விவரமாக அறிந்துள்ள செய்திகள் யாவும் கடந்த பதினைந்து ஆண்டுகளில் பெற்றவையே. ஆயினும், சடப் பொருளின் அணு அமைப்புப் பற்றிய கருத்து அஃதாவது, சடப் பொருள்கள் யாவும் மிகச் சிறிய, இறுதியான, பிரிக்க முடியாத அலகுகளாலானவை என்ற கருத்தின் போக்கு—பண்டையோரின் மெய்ப்பொருளியலின் (Philosophy) பாற்பட்டது; 2500 ஆண்டுகட்கு முன்னர் யவன (Greek) மெய்ப்பொருளியல் அறிஞர்கள் இக் கருதுகோளை மிகத் துணிவுடன் முதன் முதலாக வெளியிட்டனர். நவீன அணுக் கொள்கையினை அறிய விரும்புவோர் அணுவினைப்பற்றிய பொதுமைக் கருத்தின் வரலாற்றை ஓரளவு அறிந்து கொள்ளுதல் நன்று; அப்பொழுதுதான் நவீன பௌதிகத்தில் அக்கருத்துக்களின் மூலங்கள் செம்மையுற்றிருப்பதை நன்கு அறிந்துகொள்ள இயலும். ஆகவே அணுக்கரு பௌதிகத்தின் விளக்கத்தைப் பொருளாகக் கொண்ட சொற்பொழிவுகளுக்குப் பாயிரமாக-முன்னுரையாக-அணுக்கொள்கையின் சுருங்கிய வரலாறு அமைக்கப்பெற்றுள்ளது.

---

1 ரதர்ஃபோர்டு-Rutherford.

அணுக்கொள்கையின் வரலாற்றுச் சுருக்கம்:

எல்லாச் சடப் பொருள்களும் மிகச் சிறிய, பிரிக்க முடியாத இறுதியான அலகுகளாலானவை என்ற கருத்து சடம், (Matter), இருத்தல் (Being), ஆதல் (Becoming) என்றவற்றின் பொதுமைக் கருத்துக்கள் விரிவடைந்தபொழுதுதான் எழுந்தது; யவன மெய்ப்பொருளியலின் முதலூழியின் சிறப்பான கூறுகள் இவையே. பண்டைய மெய்ப்பொருளியல் முகிழ்த்தபொழுது தேலஸ்[2] என்பாரின் சிறந்த கூற்று ஒன்று நம் கண்ணில் படுகின்றது. அவர் கி. மு. ஆறும் நூற்றுண்டில் மிலேட்டஸ்[3] என்ற இடத்தில் வாழ்ந்தவர். நீர்தான் எல்லாப் பொருள்களுக்கும் மூலம் என்று அவர்கூறினார். ஃபிரிட்ரீச் நீட்ஸே[4] என்பாரின் விளக்கத்தினால் இச்சொற்றொடர் மெய்ப்பொருளியலின் அடிப்படையான உயிர் நிலையாகவுள்ள சிறந்த கருத்துக்களின் மூன்றினை உணர்த்துகின்றது. முதலாவது, எல்லாப் பொருள்களின் மூலம் என்பதுபற்றிய பிரச்சினை; இரண்டாவது, சமய போதத்தையோ அல்லது கட்டுக்கதைகளையோ நாடாமல் அறிவுக்குகந்த முறையில் இப்பிரச்சினைக்குத் தீர்வு காணல் வேண்டும்; அக்காலத்தில், நீர் போன்ற கண்ணால் காணக்கூடிய பொருள்களின் வாயிலாகவே தெளிவான விளக்கம் காணப்பெற்றது; 'உயிர்' என்ற கருத்திற்கு அதிகச் செல்வாக்கு இல்லை; மூன்றாவது, எல்லாப் பொருள்களையும் ஒரே ஒரு விதியின் கீழ் அடக்கிக் கூறல் வேண்டும் என்ற ஒப்புக்கோள் (Postulate). தேலஸின் கூற்றுதான் அடிப்படைப் பொருளைப் பற்றிய முதன் முதலாகக் கூறப்பெற்ற கருத்தாகும். அந்த அடிப்படைப் பொருளிலிருந்துதான் அகிலம் முழுவதும் தோன்றியது.[5] எனினும், அக்காலத்தில் 'பொருள்' (Substance) என்ற சொல் நாம் இக்

---

2 தேலஸ்-Thales. 3 மிலேட்டஸ்-Miletus.

4 ஃபிரிட்ரீச்நீட்ஸே-Friedrich Nietzche.

5 இந்த அடிப்படைப் பொருளை நம் நாட்டு வேதாந்த நூல் 'மூலப் பிரகிருதி' என்று வழங்கும்.

காலத்தில் குறிப்பது போல குறுகிய உலகாயத முறையில் வழங்கப்பெறவில்லை என்பது உறுதி.

அனுக்ஸிமாண்டரின் கருத்து:

தேலஸின் மாணுக்கரும் மிலேட்டஸில் வாழ்ந்து கற்பித்தவருமான அனுக்ஸிமாண்டர்[6] என்பாரின் கருத்தில் ஒரே ஓர் அடிப்படைப் பொருள் என்ற பொதுமைக்கருத்திற்குப் பதிலாக அடிப்படைத் துருவத்துவம் (Fundamental polarity) என்ற கருத்து—இருத்தலுக்கும் ஆதலுக்கும் முரணுக இருப்பது—ஈடாகச் செய்யப்பெற்றது. அனுக்ஸிமாண்டர் கூறிய வாதம் இதுதான்: "ஒரே ஓர் அடிப்படைப் பொருள் மட்டிலும் இருக்குமாயின், இந்த முடிவிலா ஒருபடித்தான பொருள் இந்த அகிலம் முழுவதும் நிரம்பிவிடும்; ஆதலால் பல்வேறுபட்ட தோற்றங்கள் யாவும் விளக்கம் பெறமுடியாது போய்விடும்; இக்காரணத்தால்தான், 'மாற்றமும்' 'ஆதலும்' (Change and Becoming) இன்னது என்று தேறப்பெருத அந்த ஆதி அடிப்படையினின்றுதான் எழுந்திருத்தல் வேண்டும்" என்பது. அனுக்ஸிமாண்டர் 'ஆதல்' என்ற செயலை வேற்றுமை காணப்பெருத இருத்தலின் சீர்கேடுறுதல் அல்லது தாழ்வுறுதலாகக் (Degeneration or debasement) கருதியிருக்க வேண்டும் என்று தோன்றுகின்றது. அஃதாவது, அஃது இறுதியாக உருவமோ குணமோ இல்லாத ஒரு பொருளாகத் தனித்தன்மை பெறுகின்றது என்று கூறலாம்.

ஹெராக்ளிட்டஸின் கொள்கை:

ஹெராக்ளிட்டஸின்[7] மெய்ப்பொருளியலில் ஆதல்பற்றிய பொதுமைக் கருத்து முதலாவதான இடத்தைப் பெறுகின்றது. அவர் அசையக்கூடிய பொருளை—நெருப்பை—அடிப்

6 அனுக்ஸிமாண்டர்-Anaximander.

7 ஹெராக்ளிட்டஸ்-Heraclitus.

படைத் தனிமமாகக் (Element) கருதினர். பார்மனேடிஸின்[8] கோட்பாடுகளில் ஓர் அடிப்படைத் துருவத்துவம்—இருத்தலும் இல்லாததும் (Being and Not-Being)—முக்கியக் கருத்தாக அமைந்துள்ளது. பார்மனேடிஸும்கூட பரந்த பல்வேறுபட்ட மாற்றங்களெல்லாம் இரண்டு முரணான விதிகள் இணைந்து இயற்றிய வினை, எதிர் வினைகளால் எழுந்தவையே என்று எண்ணினர்.

அனக்ஸாகோராஸின் கொள்கை:

கிட்டத்தட்ட ஒரு நூற்றாண்டிற்குப் பிறகு தேலஸைப்[9] பின்பற்றிய அனக்ஸாகோராஸ்[10] என்பார் (அவர் கி. மு. 500இல் வாழ்ந்தவராக இருக்கலாம்) இக் கொள்கை ஒரு திட்டமான மாறிய நிலையை எய்தி அதிகமாக உலகாயத முறையில் அமைந்தமைக்குப் பொறுப்பாளராகின்றார். அவர் முடிவிலா எண்ணிக்கையுடைய அடிப்படைப் பொருள்கள் உள்ளன என்றும், அவை தம்மொடு தாமாகச் சேர்ந்து இடைவினை இயற்றிப் பல்வேறு உலகச் செயல்களை விளைவிக்கின்றன என்றும் சங்கற்பித்துக் கொண்டார். இவர் கொள்கைப்படி அடிப்படைப் பொருள்கள் மிக அதிக அளவில் உலகாயத முறையில் அமைந்த தனிமங்களின் பண்புகளைப் பெற்றுள்ளன; அப்பொருள் என்றும் நிலைபேறுடையவை என்றும், சிதைக்க முடியாதவை என்றும் அவர் கருதினர். அப்பொருள்கள் இயக்கம் பெறும்பொழுது தற்செயலாக ஒன்றுடன் பிறிதொன்றாகச் சேர்ந்து உலகிலுள்ள நிகழ்ச்சிகளில் மாற்றத்தையும் அவை தொடர்ந்து நடைபெறுதலையும் விளைவிக்கின்றன என்றும் அவர் எண்ணினர்.

எம்பிடாக்கிலீஸின் கொள்கை:

கிட்டத்தட்ட பத்தாண்டுக்குப் பிறகு எம்பிடாக்கிலீஸ்[11] என்பார் மண், காற்று, நெருப்பு, நீர் என்ற நான்கு 'தனிமங்கள்'தாம் இவ்வுலகிலுள்ள எல்லாப் பொருள்களின் ஆதி வேர்கள் (Prime root)—மூலங்கள்—என்ற கருத்தினைத்

---

8 பார்மனேடிஸ்-Parmenides. 9 தேலஸ்-Thales. 10 அனக்ஸாகோராஸ்-Anaxagoras. 11 எம்பிடாக்கிலீஸ்-Empedocles.

தோற்றுவித்தார்[12]; இவர் யவன நாட்டவர். எல்லாப் பொருள்கள் கலந்த ஆதிநிலை வேறுபாடு காணமுடியாத, ஒரு படித்தான, தனிமங்களின் கலவையே என்று இவர் கருதினர். இத் தனிமங்கள் 'அன்பு' (Love) என்னும் தளையால் பிணைக்கப்பெற்று முடிவிலாப் பேரின்ப நிலையில் உள்ளன என்றும், **'பகைமை'** (Hate) என்ற பண்பு அவற்றைத் தனித்தனியாகப் பிரித்து அவற்றைக்கொண்டு வெவ்வேறு நிலையிலுள்ள **'வாழ்வு'** (Life) என்ற நாடகத்தை நடத்தி வைக்கின்றது என்றும் அவர் எண்ணினர்.

தமிழ் மொழிபெயர்ப்பாளரின் குறிப்பு:

12 இக்கருத்தை 'ஐம்பெரும் பூதங்கள்' என்ற நம் நாட்டுக் கருத்துடன் ஒப்பிடுக.

> நிலம்தீ நீர்வளி விசும்போ டைந்தும்
> கலந்த மயக்கம் உலகம் ஆதலின்

என்பது தொல்காப்பியம் (தொல்-பொருள்-மரபு-89). இதற்கு உரை கண்ட பேராசிரியரும் 'நிலனும் தீயும் நீரும் காற்றும் ஆகாயமும் என்னும் ஐம்பெரும் பூதமும் கலந்த கலவையல்லது உலகம் என்பது பிறிது இல்லாமையின்' என்று விளக்குவர்.

> மண்திணிந்த நிலனும்
> நிலனேந்திய விசும்பும்
> விசும்புதைவரு வளியும்
> வளித்தலைஇய தீயும்
> தீமுரணிய நீரும் என்றாங்கு
> ஐம்பெரும் பூதத்து இயற்கை போல

என்பது புறம் (புறம்-2). இதற்கு 'அணுச்செறிந்த நிலனும், அந்நிலத்தின் ஓங்கிய ஆகாயமும், அவ்வாகாயத்தைத் தடவி வரும் காற்றும், அக்காற்றின்கண் தலைப்பட்ட தீயும், அத்தீயோடு மாறுபட்ட நீரும் என ஐவகைப்பட்ட பெரிய பூதத்தினது தன்மைபோல' என்பது பழைய உரை.

> அலங்கலில் தோன்றும் பொய்ம்மை அரவுஎனப் பூதம் ஐந்தும்
> விலங்கிய விகாரப் பாட்டின் வேறுபாடு உற்ற வீக்கம்

என்பது கம்பராமாயணம் (சுந்தர காண்டம்-காப்பு.)

டெமாக்ரீட்டஸின் கொள்கை:

உலகாயதத்தை நோக்கிச் சென்ற இந்த எடுப்பான போக்கு எம்பிடாக்கிலீஸின் சமகாலத்தவரான லூஸிப்பஸ்[13], அவர் மாணுக்கரான டெமாக்ரீட்டஸ்[14] என்ற மெய்ப் பொருளியல் அறிஞர்களின் காலத்தில் மிக உன்னத வளர்ச்சி யடைந்தது. டெமாக்ரீட்டஸ் என்பவரே மேலைநாட்டு அணுக்கொள்கையின் தந்தையார். 'இருத்தல்' 'இல்லாமை' என்றவற்றின் முரணுன கொள்கைதான் லூஸிப்பஸ் கண்ட கோட்பாடுகளின் 'முழுமை' (Full) 'ஒன்றுமின்மை' (Empty) என்ற முரணுன கொள்கையாக வடிவெடுத்தது. 'முழுமை' என்ற கருத்து குறிப்பது இதுதான்: முழுமைதான் இறுதி யான, பிரிக்க முடியாத, துகள்களாக உள்ளன; இத்துகள்கள் தாம் அணுக்கள். இவற்றினிடையே இருப்பது 'ஒன்று மின்மை' தான்—வெட்ட வெளியே. அணு என்பது தூய்மை யான இருத்தல்; அது நிலைபேறுடையது; அழிவில்லாதது. ஆயினும், முடிவிலா எண்ணிக்கையுள்ள அணுக்கள் இருப்ப தால், தூய்மையான இருத்தல் சில குறிப்பிட்ட எல்லைக்குள் ஒரு முடிவிலா எண்ணிக்கை அளவு மீண்டும் மீண்டும் தோன்றக்கூடும். எனவே, வரலாற்றிலேயே முதல் தடவை யாக மிகச் சிறிய, இறுதியான, பிரிக்க முடியாத துகள்கள்—அணுக்கள்—எல்லாச் சடப்பொருள்களின் அடிப்படை அலகு களாக உள்ளன என்ற கருத்து எழுந்தது. இவ்வாறு அணு பற்றிய பொதுமைக் கருத்து பாகுபடுத்தியறியப்பெற்று, இரண்டு கிளைப் பொதுமைக் கருத்துக்களாக வடிவெடுத்தது. அஃதாவது: ஒன்று, அணுக்கள்; மற்ருென்று அணுக்கள் இயங்கும் இடமாம் வெட்டவெளி. இக்கருத்து எழுவதற்கு முன்னதாக, பொருளால் நீட்டப்பெற்ருே அல்லது அகட் டப்பெற்ருே வெளி விரிந்திருக்க வேண்டும்; சுத்தமான வெட்டவெளி என்பது மனத்தாலும் எண்ணமுடியாத ஒன்று. ஆனல், இன்று வெட்டவெளி ஒரு முக்கியமான

---

13 லூஸிப்பஸ்-Leucippus. 14 டெமாக்ரீட்டஸ்-Democritus.

செயலைப் பெறுகின்றது; அஃது அணுக்களால் பல்வேறு அமைப்புக்களையும் இயக்கங்களையும் பெற்று வடிவ கணிதத்திற்கும் (Geometry) இயக்கவியலுக்கும் (Kinematics) ஊர்தியாக அமைகின்றது.

அணு வெட்டவெளியில் ஒரு சிறப்பான நிலையையும் வடிவத்தையும் பெற்று, சில இயக்கங்களையும் நிறைவேற்றுகின்றது என்று கருதப்பெறினும், இந்தத் தூய்மையான வடிவகணிதப் பண்புகளைத் தவிர, அதற்கென்று தனிமையான இலக்கணம் ஒன்றும் கற்பிக்கப்பெறவில்லை. அணுவிற்கு நிறம், மணம், சுவை ஆகிய ஒருபண்பும் இல்லை; அணுக்களின் மாற்றங்களும் சடுதி மாற்றங்களும் (Mutations) உட்பட மானிடப் புலன்கள் அறியக் கூடிய அவற்றின் பண்புகள் யாவும் அணுக்களின் இயக்கத்தாலும் இடப்பெயர்ச்சியாலும் உண்டாகியவையே என்று கருதப்பெற்றன. ஒரு மொழியின் நெடுங்கணக்கிலுள்ள ஒரேவித எழுத்துக்களைக் கொண்டே இன்பியல் நாடகமும் துன்பியல் நாடகமும் எழுத இயலுவதுபோல், இந்த அகிலத்திலுள்ள பல்வேறுபட்ட நிகழ்ச்சிகள் யாவும் அணுக்களால் விளைந்தவையே என்றும், அணுக்களின் பல்வேறு நிலைகளும் பல்வேறு இயக்கங்களும் அவற்றை உண்டாக்குகின்றன என்றும் கருதப்பெற்றன. 'ஒரு பொருள் நிறத்தைப் பெற்றிருப்பதும், அஃது இனிப்பையோ துவர்ப்பையோ பெற்றிருப்பதும் வெறும் மாயத் தோற்றங்களே. அணுக்களும் வெட்டவெளியும் மட்டிலுமே உண்மையில் நிலைபெற்றிருப்பவை' என்று டெமாக்ரீட்டஸ் என்ற யவன மெய்ப்பொருளியல் அறிஞர் கூறிப் போந்தார்.

பிளேட்டோவின் கருத்து:

அணுக்கொள்கைபற்றிய அடிப்படைக் கருத்துக்கள் பின்னர் வந்த யவன மெய்ப்பொருளியல் அறிஞர்களால் மேற்கொள்ளப்பெற்று சிறிது திருத்தியமைக்கப்பெற்றன.

பிளேட்டோ[15]என்ற அறிஞர் டைமேயஸ்[16]என்ற உரையாடலில் அமைந்த நூலில் இக்கருத்துக்களை பித்தகோரஸின்[17] எண்களின் ஒத்திசைக் கொள்கையுடன் (Theory of the harmony of numbers) தொடர்புபடுத்திக் காட்டுகின்றார்; அன்றியும், அவர் தனிமங்களின்—மண், காற்று, நெருப்பு, நீர் என்றவற்றின்—அணுக்களைச் சமச்சீருடைய கனசதுரம், எண் சமமுகக் கட்டி (Octahedron), நான்கு சமமுகக்கட்டி (Tetrahedron), இருபது சமமுகக்கட்டி (Ikosahedron) போன்ற திடப் பொருள்களுடன் ஒற்றுமைப் படுத்துகின்றார். சிற்றின்பவாதிகளும்[18] அணுக்கொள்கையின் முக்கியமான பொதுமைக் கருத்துக்களை மேற்கொண்டனர். அணுக்கொள்கையுடன் அவர் இணைத்த ஒரு கருத்து—இயல்பான இன்றியமையாமை[19]—பிற்காலத்தில் இயற்கை அறிவியலில் (Natural science) பெரும் பங்கு பெற்றது. இந்தக் கொள்கைப்படி அணுக்கள் பாய்ச்சிகைபோல் (Dice) ஒருவித நியதியின்றி நேர்ந்தபடி ஒரு சேர எறியப்பெறவும் இல்லை; அல்லது 'அன்பு' அல்லது 'பகைமை' போன்ற விசைகளால் இயங்கும்படி செய்யப்பெறவும் இல்லை. ஆனால், அவற்றின் சுவடுகள் இயற்கை விதிகளின்படியோ, அன்றி கண்மூடித் தேவையின் செயற்படியோ அறுதியிடப்பெறுகின்றன.

இந்த நிலைக்குப் பிறகு மெய்ப் பொருளியல் நெறிப்படியோ அன்றி பண்டைய அறிவியலின்படியோ அணுக் கொள்கையில் மேலும் யாதொரு வளர்ச்சியும் ஏற்படவில்லை.

---

15 பிளேட்டோ-Plato.
16 டைமேயஸ்-Timaeus.
17 பித்தகோரஸ்-Pythagoras.
18 சிற்றின்பவாதிகள்-Epicureans.
19 இயல்பான இன்றியமையாமை-Natural necessity.

(II) பத்தொன்பதாவது நூற்றுண்டுவரை நிலவிய நவீன அணுக்கொள்கை

மேற்கூறப்பெற்ற முன்னேற்றம் எல்லாம் ஒரு சில நூற்றுண்டுகளில் நடைபெற்றன. அவை யாவற்றையும் திரும்பவும் நினைவுக்குக் கொண்டு வருவதற்கு முன்னர், இன்னொரு சிந்தனையாளர் இக் கருத்துக்களை ஏற்று அவற்றை ஓரளவு பயனுடையவையாக மாற்றுவதற்கு முன்னரே, இரண்டாயிரம் ஆண்டுகள் சென்றுவிட்டன. பண்டைக் காலத்தின் பிற்பகுதியில், சிறப்பாக இடைக்காலப் பகுதியில், அரிஸ்டாட்டிலின்[20] தத்துவம் வாதமற்ற அடிப்படையாக ஏற்றுக்கொள்ளப்பெற்றது. கிறித்தவ மனப்பான்மையைப் பொறுத்தவரையில் உண்மை நிலையில் பெரியதொரு மாற்றம் ஏற்பட்டது; அதன் காரணமாக நீண்ட காலம்வரை மக்களின் கவனம் உலகாயத இயற்கை அன்னையால் (Material Nature) ஈர்க்கப் பெறவில்லை.

'அணு' என்ற கருத்தின் தோற்றம் :

பல நூற்றுண்டுகளாகப் புறக்கணிக்கப்பெற்ற இக்கருத்தின் போக்குகளை மீண்டும் உயிர்ப்பித்த முதல் மெய்ப்பொருளியல் அறிஞர் ஃபிரெஞ்சு நாட்டவர்; கேஸண்டி[21] என்ற பெயருடையோர். மெய்ப்பொருளியல் அறிஞராக இருந்ததுடன் இவர் ஒரு சமய சித்தாந்தியாகவும் (Theologian) இருந்தார்; இவர் கி. பி. 1592-இல் புராவென்ஸ்[22] என்ற இடத்தில் பிறந்து கி. பி. 1665-இல் பாரிஸ்[23] மாநகரத்தில் இயற்கை எய்தினர். இவர் கலிலியோ[24], கெப்லர்[25] ஆகிய அறிஞர்களின் காலத்தவர். எனவே, அவர் புத்துயிர் பெற்ற இயற்கை அறிவியலின் முதல் அருஞ்செயல்களைக் கண்ணுற்றுர். கிட்டத்தட்ட 2000 ஆண்டுகள் பயனின்றிக் கழிந்த

---

20 அரிஸ்டாட்டில்-Aristotle. 21 கேஸண்டி-Gassendi.
22 புராவென்ஸ்-Provence. 23 பாரிஸ்-Paris.
24 கலிலியோ-Galileo. 25 கெப்லர்-Kepler.

பிறகு, மீண்டும் அறிவியல் புலம் வளம்பெறத் தொடங்கியது.

காஸண்டியுட்பட இந்தப் புதிய இயற்கை அறிவியலின் பிரதிநிதிகளாக இருந்தோர் அரிஸ்டாட்டிலின் கொள்கையை எதிர்த்துப் புரட்சி செய்தனர்; இவர்கள் பண்டைக் காலத்திய வேறு மெய்ப்பொருளியல் அறிஞர்களின் கருத்துக்களை ஒப்புக்கொண்டனர். ஆகவே, காஸண்டி என்பார் டெமாக்ரீட்டஸின் கொள்கைகளைத் தழுவி அவற்றிற்கு முழுமையாகவே உலகாயத வடிவு கொடுத்தார். இவரும் இவ்வுலகம் இறுதியான, பிரிக்கவொண்ணுத, கண்ணுக்குப் புலனுகாத மிகச் சிறிய அலகுகளானது—அணுக்களாலானது—என்ற கொள்கையினரே. டெமாக்ரீட்டஸைப் போலவே இவரும் பல்வேறு வகை நிகழ்ச்சிகளும் அணுக்களின் பல்வேறு வகை அமைப்புக்களாலும் இயக்கங்களாலும் விளைந்தவையே என்று கருதினுர். அணுக் கொள்கையின் துணைக்கொண்டு பௌதிக நிகழ்ச்சிகளை இன்னும் மிகத் தெளிவாக—மிக எளிதாக என்றுகூடச் சொல்லலாம்—விளக்கக் கூடும் என்ற கருத்து ஏற்கெனவே தானுக எழுந்திருந்தது. எனவே நீரும், திராட்சைப் பழச்சாறும் கலந்த கலவையை நன்ருகக் கலந்த இரு வகை மணலின் கலவையுடன் ஒப்பிடலாம்; மணலின் கலவை மிக நன்ருகக் கலக்கப்பெறுவதால் இரண்டு வகை மணற் பொடிகளும் தற்செயலாக ஒன்ருேடொன்று நெருங்கிக் கலந்து வினியோகிக்கப்பெற்றுள்ளன. நீரின் அணுக்களும் திராட்சைச் சாற்றின் அணுக்களும் கரையாத நிலையில் தற்செயலாக ஒன்று சேர்ந்துள்ள மணற்பொடிகளை ஒத்துள்ளன. அன்றியும், நவீன காலத்தில் மிகத் தெளிவாகவும் விளக்கமாகவும் நாம் பெறுவதைப்போல் இல்லாவிடினும், ஓரளவு அதைப் போலவே சடப்பொருளின் திரட்சி நிலைகள் அணுக் கொள்கையினுல் விளக்கப்பெறுதல் கூடும் என்ற கருத்தும் எழுந்தது. இன்று நாம் 'திட' நீரில்—பனிக் கட்டியில்—அணுக்கள் வரிசை வரிசையாக ஓர் ஒழுங்கில் இறுகப் பிணைக்கப்பெற்றுள்ளன என்பதை நன்ருக அறிவோம்.

'திரவ' நீரிலும் அவை இறுக்கமாகத்தான் பிணைந்துள்ளன. ஆனால், அவை ஒழுங்கற்ற நிலையில் உள்ளன; இந்த ஒழுங்கற்ற நிலையில்தான் அவை அதில் நெகிழ்ந்தோடுகின்றன. இறுதியாக, நீராவியில் அந்த அணுக்கள் (சரியாகச் சொல்வோமானால் **மூலக் கூறுகள்** (Molecules) எனப்படும் அணுக்களின் தொகுதிகள்) ஒன்றுக்கொன்று அதிகத் தொலைவிலுள்ள, பறந்து செல்லும் பழ-ஈக்களின் கூட்டத்தை ஒத்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

இக் கருத்து வேறு பல ஆராய்ச்சியாளர்களாலும் ஏற்றுக் கொள்ளப்பெற்று, அதன் பிரயோகம் அளவற்ற முறையில் வளர்ந்தது. யவனர்களுக்கு அணுக்களைப்பற்றிய பொதுமைக் கருத்து இவ்வுலகைப் புரிந்துகொள்ளும் ஒரு வழித் துறையாகவும், கண்ணால் காணக் கூடியவற்றிற்கு ஒரு காரணமாகவும் இருந்தது. இப்பொழுது அது பண்படாத, உயிரற்ற சடப் பொருளைப்பற்றித் தெளிவாகப் புரிந்து கொள்ளும் வாயிலாக அமைந்து விட்டது.

பாயிலின் கொள்கை :

அடுத்தபடியாக நாம் குறிப்பிட வேண்டிய அறிவியல் ஆராய்ச்சியாளர் ஓர் ஆங்கிலேயர்; ராபர்ட் பாயில்[26] (கி. பி. 1627-1661) என்ற பெயரைக் கொண்டவர். அவரை ஒரு மெய்ப்பொருளியல் அறிஞர் என்று கொள்வதைவிட ஒரு வேதியியல் விற்பன்னர் (Chemist), பௌதிக அறிஞர் (Physicist) என்று கோடலே ஏற்புடைத்து. அவருடைய முக்கிய ஆராய்ச்சி, வாயுக்களின் கொள்கையைப்பற்றியது; ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் ஒரு வாயுவின் அழுக்கத்தையும் கன அளவையும் பெருக்குவதால் வரும் பெருக்கற்-பலன் (Product) எப்பொழுதும் மாறாமல் இருக்கும் என்ற விதியைக் கண்டறிந்தார். வேதியியலில் அவர் வேறு பல முக்கிய கண்டு பிடிப்புக்களுக்கும் காரணமாக இருந்தார்; சிறப்பாகக்

26 ராபர்ட் பாயில்-Robert Boyle.

குறிப்பிட்டால், நவீன முறையில் வேதியியல் தனிமங்களைப் பற்றிய பொதுமைக் கருத்தின் தொடக்க நிலைக்கு இவர் தான் பெருந் தொண்டாற்றினார் என்று சொல்லவேண்டும். ஏற்கெனவே யவனர்கள் அடிப்படையான இயற்கை நிகழ்ச்சிகளுடன்—ஓய்வும் இயக்கமும், மண்ணும் நெருப்பும்—தனிமங்கள்பற்றிய கருத்தினைத் தொடர்பு படுத்தியிருந்தனர்; ஆனால், பாயில் முற்றிலும் உலகாயத முறையில் இக் கருத்தினை வேதியியல் செய்முறைகளுடன் தொடர்பு படுத்திக் காட்டினார். வேதியியலால் பல்வேறுபட்ட பொருள்களைப் பிற பொருள்களாக மாற்ற முடிந்தது. பாயில் எழுப்பிய வினா இதுதான்: இயற்கையிலுள்ள ஒருபடித்தான, எண்ணற்ற வகைப் பொருள்கள் யாவும் எப்பொருள்களாலானவை? இன்னும் அவர் வினவினார்: மீண்டும் பிரிக்க முடியாதவையும் ஏதாவது ஒரு முறையில் எல்லாப் பொருள்களிலும் அடங்கி யிருப்பவையுமான தனிமங்கள் யாவை? பாயில் காலத்திற்குப் பல நூற்றாண்டுகட்கு முன்னிருந்த இரசவாதிகள் (Alchemists) எழுப்பிய, இதிலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்ட, வினாவிலிருந்தே இப் பிரச்சினை எழுந்தது. ஒவ்வொரு பொருளையும் இறுதியாக ஒரே ஓர் அடிப்படைப் பொருளாக மாற்றி விடலாம் என்ற அடிப்படைக் கருத்திலிருந்தே பண்டைய இரசவாதம் முளைத்தது. எந்தப் பொருளையும், அல்லது எந்தச் சடப்பொருளையும் பிறிதொன்றாக மாற்றிவிடலாம் என்பது இந்த விதிப்படி இயலக் கூடியதே. எடுத்துக் காட்டாக, பாதரசத்தைப் பொன்னாக மாற்றலாம். ஆனால், இத்துறையில் மேற்கொள்ளப்பெற்ற எம்முயற்சியும் பயன் அளிக்கவில்லை; இத்தகைய மாற்றத்தை வேதியியல் முறையில் என்றுமே முற்றுவிக்க முடியாது. எனவே, இம்முறையில்—வேதியியற் செய்முறைக்கு உட்படுத்தினாலும்—சடப்பொருள் ஒருபடித்தாக அமைந்திருக்கவில்லை என்பது வெளிப்படை; ஆனால், எந்த வேதியியற் செய்முறையினாலும் மாற்ற முடியாத அடிப்படைப் பொருள்கள் இருந்தே தீரவேண்டும் என்பது பெறப்படுகின்றது. எனினும், பாயில் காலத்திலிருந்தே இத்தகைய பல அடிப்படைப் பொருள்கள்

உள என்பது சாதாரணமாக எல்லோரும் அறிந்த செய்தியே. இப் பொருள்களை வேதியியல் தனிமங்கள் (Chemical elements) என்று வழங்கினர். இவை இன்று நாம் அறிந்துள்ள ஒரே மாதிரியான கிட்டத்தட்ட ஐந்து இலட்ச வேதியியற் கூட்டுப் பொருள்களுக்கும் (Chemical compounds) முற்றிலும் வேறானவை. வேதியியற் கூட்டுப் பொருள்களின் எண்ணிக்கை அடிப்படைத் தனிமங்களின் எண்ணிக்கையைவிட, பல ஆயிரம் மடங்கு பெரியது. எனினும், இறுதியான, பிரிக்க முடியாத பொருள்களின் கூறுகள் என்று நாம் கருதுவதற்குச் சிரமமாக இருப்பதற்கேற்றவாறு, இத் தனிமங்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாகவே உள்ளது. ஆயினும், இன்று நாம் அறிந்துள்ள தொண்ணூற்றாறு தனிமங்களில் ஒரு சிலவற்றை மட்டிலுமே பாயில் அறிந்திருந்தார்; என்றாலும், அவர் வேதியியலின் நோக்கங்களையும் செயல்களையும் முறைப்படுத்திச் சொல்லுவதில் வெற்றியடைந்தார் என்றே சொல்லலாம். அவர் சொன்னது: 'சடப்பொருள் எந்த அடிப்படைப் பொருள்களாலானது என்பதை வேதியியல் முறையினால் பகுத்துப் பார்த்து அவை இன்னவை என்று அறுதியிடுவதே நாம் செய்யவேண்டியது' என்பது. எனவே, பாயில் கூறிய வேதியியல் தனிமங்கள் டெமாக்ரீட்டஸ் செப்பிய மண், காற்று, நெருப்பு, நீர் என்ற தனிமங்களின்றும் முற்றிலும் வேறுபட்டவை என்பதை நாம் அறிகின்றோம்.

லெவாய்ஸரின் கொள்கை:

ஒரு நூற்றாண்டிற்குப் பிறகு லெவாய்ஸர்[27] என்பார் தோன்றினர்; இவர் ஃபிரெஞ்சு நாட்டவர். இவர்தான் நவீன வேதியியலின் உண்மைத் தந்தை யாவார். இவர் கி. பி. 1743-இல் பிறந்தார்; கி. பி. 1794-இல் ஃபிரெஞ்சுப் புரட்சிக்குப்[28] பலியாகித் தூக்கிலிடப்பெற்றார். இவரது

27 லெவாய்ஸர்-Lavoisor.

28 ஃபிரெஞ்சுப் புரட்சி-French Revolution.

நிரந்தரமான தொண்டு அளவறி வேதியியலைச்[29] சார்ந்தது; உண்மையில் இத் துறையை முதன் முதலாகக் கண்டறிந்தவரும் இவரே. எரிதல் என்ற செயலின் சரியான விளக்கத்தை முதன்முதலாகத் தந்தவரும்இவர்தான். இவரது காலம்வரையிலும் எந்தப் பொருளின் எரிதலிலும் 'ஃபிலாஜிஸ்டன்' (Phlogiston)—எரிமுதல்—என்ற ஒரு பொருள் விடுவிக்கப்பெறுகின்றது என்று நம்பப்பெற்று வந்தது. ஆதலால், அப்பொருள் எரிந்த பிறகு கட்டாயம் இலேசாதல் வேண்டும் என்று அறிஞர்கள் கருதினர். ஆனால், லெவாய்ஸர் இதற்கு முற்றிலும் மாறுபட்ட கருத்தினைக் கொண்டார்; எரிதலில் அப்பொருள் தீயகம் (ஆக்ஸிஜென்) எனப்படும் ஒருதனிமத்துடன் சேர்கின்றது என்றும், அதனால் அப் பொருள் எடையில் மிகுகின்றது என்றும் இவர் கருதினார். இவருடைய கொள்கை சோதனையாலும் மெய்ப்பிக்கப்பெற்றது. அதே சமயத்தில் மிகவும் இன்றியமையாத ஒன்றையும் இவர் முற்றுப்பெறச் செய்தார். அஃதாவது, வேதியியல் மாற்றங்களால் பொருள்களின் பொருண்மையில் ஏற்படும் வேற்றுமைகளை ஆராய வேண்டும் என்று இவர் அக் கால வேதியியற் புலவர்களைத் தூண்டினார்.

இதனால் நமக்கு ஒருவிதி கிடைக்கின்றது;அதனை லெவாய்ஸரே கி.பி. 1774-இல் ஓர் வாய்பாடாக வகுத்தார். ஆனால், பல ஆண்டுகட்குப் பின்னரே அவ்விதி வேதியியற் புலவர்களின் பொதுச் சொத்தாயிற்று. அதுதான் பொருண்மை மாறு விதி[30] என்பது. ஏற்கெனவே லெவாய்ஸர் ஒவ்வொரு வேதியியல் மாற்றத்திலும் பங்கு கொள்ளும் பொருள்களின் மொத்தப் பொருண்மை மாறுதிருக்கும் என்று கூறியிருந்தார். அஃதாவது, புதிதாக உண்டாக்கப்பெற்ற பொருளின் மொத்த அளவு, மாற்றத்திற்குப் பிறகும் முன்கொண்டிருந்த எடையையே கொண்டிருக்கும் என்பது அவர் கண்ட உண்மை. இவ் விதியின் கண்டுபிடிப்பும் அதை முறைப்

29 அளவறி வேதியியல்-Quantitative chemistry.
30 பொருண்மை மாறு விதி-Law of conservation of mass.

படுத்திக் கூறியதும் உண்மையில் நவீன வேதியியலின் தோற்றுவாயாக அமைந்தன; ஒரு சில ஆண்டுகளில் அவை பாயிலின் வேதியியலையும் காஸண்டியின் அணுக்கொள்கை யையும் பிணைக்கும் கண்ணியுமாயின.

டால்ட்டனின் கோட்பாடு:

கி. பி. 1792-இல் செருமானிய நாட்டைச் சார்ந்த ஜே. பி. ரிக்டர்[31] என்பார் வேதியியல் தனிமங்கள் எப்பொழு தும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு விகிதங்களில்தான் கலந்து வேதி யியற் கூட்டுப்பொருள்களாகின்றன என்று கண்டுபிடித்தார். ஏதாவது ஓர் அளவுள்ள ஹைட்ரஜன் ஏதாவது ஓர் அள வுள்ள ஆக்ஸிஜனுடன் சேர்ந்து நீர் உண்டாவது என்பது சாத்தியம் இல்லை; ஹைட்ரஜனும் ஆக்ஸிஜனும் முறையே 1 : 8 என்ற விகித அளவுகளில்தான் சேர்ந்து நீர் உண்டாக வேண்டும். அங்ஙனமின்றேல், மாற்றம் அடையாத ஹைட் ரஜன் அல்லது ஆக்ஸிஜன் எஞ்சியேயிருக்கும். நிறைவீதம மாறு விதி[32] என்ற இந்த விதியை அக்காலத்தில் டால்ட்டன்[33] என்பார் வேதியியலின் அடிப்படை விதியாகச் செய்தார்; ஒரு குறுகிய காலத்திற்குள் அது வேதியியலையும் அணுக் கொள்கையையும் இணைப்பதற்கு வழி காட்டியது. இந்த விதியை டால்ட்டன் இன்னும் மிகத் திட்டமாகக் கூறி அதற்கு வடிவகணித முறையில் விளக்கமும் தந்தார்.

இந்த வடிவகணித விளக்கம்தான் மிகவும் முக்கியமா கின்றது. அதை ஓர் எடுத்துக்காட்டினைக்கொண்டு இன்னும் தெளிவாக்க முயலுவோம். ஹைட்ரஜன் ஆக்ஸிஜனுடன் கலந்து நீர் உண்டாகும்பொழுது, அச்செய்முறையை நவீன துறைச் சொற்களைக் கொண்டு இவ்வாறு நாம் கற் பனையில் காணவேண்டும்: ஹைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் என்ற இரு தனிமங்களின் மிகச் சிறிய துகள்கள்—அணுக்கள்—

---

31 ஜே. பி. ரிக்டர்-J. B. Richter.

32 நிறை வீதம் மாறு விதி-Law of constant proportions.

33 டால்ட்டன்-Dalton.

தாமாகச் சேர்ந்து சற்றுப் பெரிய சிக்கலான அலகாக—அஃதாவது நீர் மூலக் கூறாக[34]—ஆகின்றன. இப்பொழுது நாம் தனித்தனியான அணுக்களாலான ஒரு மூலக்கூறின் வடிவ கணித அமைப்பினைக் கற்பனையில் காண முடிகின்றது. அஃதாவது, இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவும் கொண்ட அமைப்பே நீர் மூலக்கூறு ஆகும். இக் கருத்து மடங்கு வீத விதியை[35] நேர் முறையில் புரிய வைப்பதற்குத் துணையாக உள்ளது. நீர் என்று நாம் வழங்கும் கூட்டுப் பொருள் ஆக்ஸிஜன் அணுக்களும் ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் 1 : 2 என்ற விகிதத்தில் கலந்திருப்பதாகச் சிறப்புடன் குறிப்பிடப்பெறுகின்றது.

டால்ட்டன் கொள்கையின் வளர்ச்சி:

கி. பி. 1803-இல் தோற்றுவிக்கப்பெற்ற, அணுக்கள் சேர்ந்து மூலக் கூறுகளாகின்றன என்ற வடிவகணித முறையில் விளக்கம் பெறக்கூடிய டால்ட்டனின் கொள்கை மீண்டும் வளர்ச்சி பெற்றது; அஃது ஒரு சில ஆண்டுகளில் நிரந்தரமாக நிலைநிறுத்தப்பெற்ற அறிவியல் ஒப்புக்கோளாகவும் (Postulate) மாறியது. கி. பி. 1811-இல் அவகாட்ரோ[36] என்ற இத்தாலிய நாட்டுப் பௌதிக அறிஞர் துணிச்சலான கருதுகோள் ஒன்றினை அறிவித்தார். அதுதான் இன்றைய அணுக்களின் வேதியியற் கொள்கைக்கு அடிப்படைக் கல்லாக அமைந்துள்ளது. அவருடைய கருதுகோளின்படி (Hypothesis) ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையிலும் அழுக்கத்திலும் சம பரிமாணமுள்ள எல்லா வாயுக்களும் சம எண்ணிக்கையுடைய மூலக் கூறுகளைக் கொண்டுள்ளன. இன்றும் அக் கருதுகோள் சோதனைமூலம் மெய்ப்பிக்கப்பெற வேண்டிய நிலையிலிருந்த போதிலும், அஃது அணு-எடைகளை அறுதியிடுவதற்கு ஒரு வழிகாட்டியாக அமைந்தது. அன்றி

---

34 நீர் மூலக் கூறு-Water molecule.

35 மடங்கு வீத விதியை-Law of multiple proportions.

36 அவகாட்ரோ-Avagadro.

யும், அது டால்ட்டனின் அணுக்கொள்கைக்கு அசைக்க முடியாத நிரந்தரமான அடிப்படைத் தளத்தையும் அமைத்துக் கொடுத்தது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வாயுவிலுள்ள அணுக்கள் அல்லது மூலக் கூறுகளின் எண்ணிக்கையை நாம் அறிந்தால் ஒரு தனிப்பட்ட மூலக் கூறின் சேர்க்கை வீதத்தைத் திட்டமாகக் கூறி விடலாம். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு நீரின் மூலக்கூறு ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவையும் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களையும் கொண்டுள்ளது என்று மிகத் திட்டமாகக் கூறி விடலாம்.

இவ்வாறு அளவறிமுறையில் அணுக்களின் எடை அல்லது அணுக்களின் பொருண்மை விகிதங்களை அறுதியிடுவதற்கு ஒருவழி அமைக்கப்பெற்றது. ஏதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட சமயத்தில் உள்ள அணுக்களின் முழுமையான (Absolute) எண்ணிக்கை தெரியாவிடினும், ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையிலும் அழுக்கத்திலும் சமபரிமாணமுள்ள வாயுக்களில் சம எண்ணிக்கையுள்ள மூலக் கூறுகளே இருக்கும் என்பது நிச்சயமாக நமக்குத் தெரியும். இது நமக்குப் போதுமானது. ஏனெனில், அஃது அணுக்களினுடையவும் மூலக்கூறுகளினுடையவும் பொருண்மை விகிதங்களைப்பற்றிய தகவலை நமக்குத் தந்துவிட்டது.

சில ஆண்டுகளுக்குள் பெர்ஸீலியஸ்[37] என்ற ஸ்வீடன் நாட்டு அறிவியலறிஞர் மிக அதிகமான மூலக்கூறுகளின் அணு எடைகளைத் கணக்கிட்டார். அன்றியும், அவர் தனிப்பட்ட அணுக்களினின்றும் எவ்வாறு மூலக்கூறுகள் அமைகின்றன என்பதுபற்றி மிகத்திட்டமான கொள்கைகளை உண்டாக்குவதிலும் வெற்றி கண்டார். இன்னும் அவர் மூலக்கூறுகளில் அணுக்களைப் பிணைக்கும் விசைகளின் இயல்புபற்றியும் ஆராய்ந்தார். அவர்தான் ஒரு தனிமத்தின் ஓர் அணு பிறிதொரு தனிமத்தின் ஓர் அணுவுடன் சேர்ந்திருக்கும் விசையைப்பற்றிக் கூறும்பொழுது வலுவெண்[38] என்ற கருத்தினை

37 பெர்ஸீலியஸ்-Berzelius.

38 வலுவெண்-Valency.

முதன் முதலாகத் தொடங்கி வைத்தார். இந்த விசையை (Force) அவர் ஆராய்ந்தபொழுது, அது மின்சாரத் தன்மையுடன் இருக்க வேண்டும் என்ற முடிவுக்கு வந்தார்.

அண்மைக்கால அணுக் கொள்கை:

சுமார் 120 ஆண்டுகட்கு முன்னர் உள்ள அணுக் கொள்கையின் நிலையை இவ்வாறு சுருக்கமாகக் கூறலாம்: மிகப் பேரெண்ணிக்கையிலுள்ள வேதியியற் கூட்டுப்பொருள்களை மிகச் சிறிய எண்ணிக்கையிலுள்ள வேதியியல் தனிமங்களாகக் குறைத்துக் கொள்ளலாம்; இத் தனிமங்களில் பெரும்பான்மையானவை கண்டறியப்பெற்றுவிட்டன. இத் தனிமங்களின் பொருண்மை விகிதங்களும் கிட்டத்தட்டச் சரியான அளவில் கண்டறியப்பெற்று விட்டன. எடுத்துக்காட்டாக, ஹைட்ரஜன் அணுவைவிட ஆக்ஸிஜன் அணு ஏறக்குறைய 16 மடங்கும், நைட்ரஜன் அணு 14 மடங்கும் பளுவாக உள்ளன. எனினும், பல இடைவெளிகள் இன்னும் நிரப்பப் பெறாமல் இருந்தன. அணுக்களின் முழுமையான (Absolute) பருமனைப்பற்றியோ, அல்லது ஒரு குறிப்பிட்ட பரிமாண அளவு இடத்தில் அவை இருக்கும் எண்ணிக்கையின் அளவைப் பற்றியோ ஒன்றும் தெரிந்தபாடில்லை. நமக்குத் தெரிந்ததெல்லாம் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையிலும் அமுக்கத்திலும் உள்ள வாயுக்களில் ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் இருக்கும் என்பது மட்டிலுமே. நாம் அணுவினைப்பற்றிச் சரியாக அறிந்திருந்ததெல்லாம், அது கிட்டத்தட்ட கதிரவன் ஒளிக்கற்றையிலுள்ள ஒரு சிறு துகளின் பருமன் இருக்கலாம் அல்லது மிகச் சிறிதாக இருக்கலாம் என்பதுதான்[39]; டெமாக்ரீட்டஸும் இக்கருத்தினையே கொண்டிருந்தார். இங்ஙனமே அணுக்களின் வடிவத்தைப்பற்றியோ அவற்றினிடையே நிலவும் விசைகளைப்பற்றியோ நமக்கு ஒன்றுமே தெரியாதிருந்

தமிழ் மொழிபெயர்ப்பாளரின் குறிப்பு:

39 'இல் நுழை கதிரின் நுண் அணுப் புரைய' என்பது திருவாசகம் (திரு அண்டப் பகுதி-வரி 5.)

தது. இவற்றில் பின்னதைப்பற்றி ஒரு வித மெய்ப்பிப்பு இல்லாத ஊகங்கள் தாம் (Extremely hypothetical conjectures) முகிழ்த்திருந்தன. அன்றியும், வேதியியல் முறையில் அணுக்கள் தாம் சடப்பொருளின் இறுதியான கூறுகள்—இன்னொரு விதமாகக் கூறினால், வேதியியல் வழிகளாலும் முறைகளாலும் செயல் விளக்கம் அளிக்கக் கூடிய மிகச் சிறிய அலகுகள்—என்று நாம் அறிந்திருந்த போதிலும், இந்த வேதியியல் அணுக்களை வேறு முறைகளைக் கையாண்டு மீண்டும் பிரிக்கக் கூடுமோ என்பதுபற்றியும் அல்லது ஒரு வகை அணுக்களைப் பிறிதொரு வகை அணுக்களாக மாற்றக் கூடுமோ என்பது பற்றியும் எவரும் அறிந்திலர்.

பிரௌட் கொண்ட முடிவுகள்:

அணுக்களைத் தனித்த முறையில் பிரிக்க இயலாது (Absolute indivisibility) என்ற கொள்கைக்கு முரணாக ஒரு கண்டுபிடிப்பு எழுந்தது; கி.பி. 1815-இல் பிரௌட்[40] என்பார் முதன் முதலாக அக் கண்டுபிடிப்பிலிருந்து சில முடிவுகளைக் கண்டார். பிரௌட் (கி.பி. 1785—1850.) அக் காலத்தில் கண்டறியப்பெற்ற அணு-எடைகள் — இவை பெரும்பாலும் இலேசான தனிமங்களினுடையனவே—கிட்டத்தட்ட ஹைட்ரஜன் அணு-எடையின் முழுமடங்குகளாகவே (Integral multiples) இருந்தன என்ற மெய்ம்மையின் அடிப்படையிலேயே தன் அனுமானங்களை (Deductions) அமைத்தார். எல்லா அணுக்களும் ஹைட்ரஜன் அணுக்களால் அமைக்கப்பெற்றவையே என்ற அவரது கொள்கைக்கு இந்த மெய்ம்மையே அடித்தளமாக அமைந்தது. ஒரு கரியணு ஹைட்ரஜன் அணுவைப்போல் கிட்டத்தட்டப் பன்னிரண்டு மடங்கு பளுவாக இருப்பதாலும், ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணு ஹைட்ரஜன் அணுவைப் போல ஏறக்குறைய பதினாறு மடங்கு பளுவாக இருப்பதாலும் கரியணு பன்னிரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களாலும் ஆக்ஸிஜன் அணு பதினாறு

---

40 பிரௌட்-Prout.

ஹைட்ரஜன் அணுக்களாலும் சேர்ந்து அமைதிருக்கவேண்டும். எனவே, ஹைட்ரஜன் அணுவே எல்லாப் பொருளின் இறுதியான கூறுகளாக இருக்கவேண்டும் என்பதுபெறப்படுகின்றது. கிட்டத்தட்ட நூறு வெவ்வேறு தனிமங்கள் உள்ளன என்று கூறும் கருதுகோளை ஏற்றுக்கொள்வது சற்றுக் கடினமானதாகவே கருதப்பெற்றது. ஏனெனில், இயற்கையிலுள்ள ஒருபடித்தான நிலையை நாம் உண்மையாக நம்பினால், அடிப்படைத் தனிமங்களின் எண்ணிக்கையும் மிகச் சிறியதாகவே இருக்கவேண்டும் என்பதைத்தான் கொள்ளவேண்டும்.

பிரௌட்டின் கருதுகோள் அனைவரும் ஒப்புக்கொள்ளக் கூடிய கூறுகளைக் கொண்டிருந்த போதிலும், அது நூற்றாண்டுகளுக்கு மேலாக முற்றிலும் புறக்கணிக்கப்பெற்றே கிடந்தது. பளுவான தனிமங்களின் அணு-எடைகளும் கிட்டத்தட்ட முழு எண்களே என்று மெய்ப்பிக்கப்பெறாததுதான் அது தள்ளுபடி செய்யப் பெற்றதற்கு முக்கிய காரணமாகும். எனினும், இந்தக் கருதுகோள் மிகவும் இன்றியமையாத உண்மையின் ஒரு சிறு பகுதியைக்கொண்டே திகழ்ந்தது. அது சற்றுத் திருத்தி யமைத்த நிலையில், நவீன அணுக்கரு பெளதிகத்தில் அடிப்படையான பங்கினைப் பெறுவதை நாம் பின்னர்க் காண்போம்.

அணுக்கொள்கையில் புதிய காலம் :

மைக்கேல் ஃபாரடே என்பார்[41] (கி.பி. 1791–1867) அணுக்கொள்கையில் ஒரு புதிய காலத்தைத் (Era) தொடங்கிவைத்தார். அவர் அணுக்கொள்கையை மின்சாரக் கொள்கையுடன் இணைத்தார். மிகவும் சிறப்பு வாய்ந்த உறவு முறையினை அவர் ஒரு வாய்பாடாக[42] நிலை நாட்டியதற்கு அணுக்

---

41 மைக்கேல் ஃபாரடே-Michale Faraday.

42 $m = ect$ என்பது அந்த வாய்பாடு. இதில் m உருமாற்றம் அடைந்த பொருளின் அளவு; c என்பது மின்னோட்டத்தின் அளவு (ஆம்பியர்களில்); t என்பது மின்னோட்டம் பாய்ந்தகால அளவு(வினாடிகளில்); e என்பது அப்பொருளின் மின்-வேதியியல் சமபல-எண்.

கொள்கை அவருக்கு மிகவும் கடமைப்பட்டுள்ளது: மின்சார முறையில் தூண்டப்பெறும் மின் பகுக்கையால் (electrolysis) உண்டாகும்—வேதியியல் மாற்றங்களில் உருமாற்றம் அடைந்த பொருளுக்கும் ஒரு திட்டமான அளவு மின்னூற்ற கும் இடையே ஓர் உறவுமுறை அமைந்துள்ளது. இதுதான் அவர் கண்டறிந்த விதியாகும். அன்றியும், ஒரு குறிப்பிட்ட திட்டமான அளவு மின்னூற்றலால் உருமாற்றம் அடைந்த பொருள்களின் பொருண்மைகள் அப்பொருள்களின் சமபல-எடைகளுடன் (Equivalent weights) உறவு கொண்டுள்ளன என்றும் அவர் கண்டு பிடித்தார்; எனவே, சாதாரண நிலையிலுள்ள பொருள்களில்—ஒரு வலுவெண்ணைக் கொண்ட பொருள்களில் — உருமாற்றம் அடைந்த பொருள்களின் பொருண்மைகள் அப்பொருள்களின் அணு-எடைகளுடன் உறவு கொண்டுள்ளன, மின்னூற்றல்கூட அணு அமைப்பினைக் கொண்டது என்பதை இக் கண்டுபிடிப்பு உணர்த்திற்று; இந்த அணு அமைப்பினால் ஒரு வேதியியற் கூட்டுப் பொருளின் ஒவ்வோர் அணுவும், அல்லது மூலக்கூறும் (Molecule) ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட மின்னூற்றலின் அணுக்களுடன்—அவை அதுகாறும் அறிவியலறிஞர்கள் அறியாத முறையிலிருப்பினும்—தொடர்பு கொண்டுள்ளது என்பது தெரிந்தது. இது கி.பி. 1848லேயே வெபர்[43] என்பாரால் குறிப்பிடப்பெற்றதாகும். இது ஒரே அளவுள்ள மின்னூற்றல் எப்பொழுதும் ஒரே அளவுள்ள பொருளுடன்—வேறு விதமாகக் கூறினால், ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள அணுக்களுடன்—ஏன் உறவு கொண்டுள்ளது என்பதைக் காரண காரிய முறையில் தெளிவாக்குகின்றது. இன்று, மோல் (Mole) என்பதும் கிராம்-அணு (Gramme-atom) என்பதும் அடிப்படைப் பொண்மை அலகுகளாக வழக்கத்தில் மேற்கொள்ளப்பெற்று வருகின்றன. ஒரு பொருளின் மூலக்கூறு-எடை (Molecular weight) எந்த எண்ணால் குறிக்கப்பெறுகின்றதோ அத்தனை கிராம் எடையளவு பொருள்தான் அப்

43 வெபர்-Weber.

பொருளின் 'மோல்' என்பது; அதுபோலவே, ஒரு பொருளின் அணு-எடை (Atomic weight) எந்த எண்ணால் குறிக்கப் பெறுகின்றதோ அத்தனை கிராம் எடையளவு பொருள்தான் அப்பொருளின் 'கிராம்-அணு' என்பது. எடுத்துக்காட்டாக ஆக்ஸிஜனின் (O^2; மூலக்கூறு-எடை 32) ஒரு 'மோல்' என்பது 32 கிராம் அந்த வாயுவின் எடைக்குச் சமம்; ஆக்ஸிஜனின் (O; அணு-எடை 16) ஒரு 'கிராம்-அணு' என்பது 16 கிராம் அந்த வாயுவின் எடைக்குச் சமமாகும்.* ஒரு வலுவெண்ணைக் (Univalent) கொண்ட தனிமத்தின் ஒவ்வொரு 'கிராம்-அணு'வும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு மின்னாற்றலுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது; இது 96,520 கூலாங்கள்‡ (Coulombs) ஆகும். பல்வலுவெண், (Multivalent) தனிமத்தின் ஒவ்வொரு 'கிராம்-அணு'வும் இந்தக் குறிப்பிட்ட அளவு மின்னாற்றலின் பொருத்தமான மடங்கி (Multiple) ஆகும்.

வாயுக்களின் கொள்கைத் துறையில் முன்னேற்றம்:

அடுத்த முன்னேற்றங்கள் வாயுக்களின் கொள்கைத் துறையில் நடைபெற்றன; மாக்ஸ்வெல்,[44] போல்ட்ஸ்மாண்,[45] கிளாஸியஸ்[46] ஆகிய அறிஞர்கள் மேற்கொண்ட முயற்சிகளின் விளைவாக அஃது ஒரு சரியான அறிவியல் நிலைக்கு

---

*அணு-எடைகளைக் குறிக்கும் அளவுகோலின்படி ஆக்ஸிஜன் ஐசோடோப்பின் ($_8O^{16}$) அணு-எடை 16·0000.

‡ஒரு கடத்தி வழியாக ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டம் ஒரு வினாடி ஓடினால் அந்தக் கடத்தியின் ஏதேனுமொரு வெட்டுவாயைக் கடந்து செல்லும் மின்சாரத்தின் அளவு 'கூலாம்' எனப்படும். ஆம்பியர் என்பது மின்னோட்டத்தை அளக்கும் ஓர் அலகு.

44 மாக்ஸ்வெல்-Maxwell.

45 போல்ட்ஸ்மாண்-Boltzmann.

46 கிளாஸியஸ்-Clausius.

உயர்ந்தது. இந்த மூன்று ஆராய்ச்சியாளர் மேற்கொண்ட பணியின்மூலம் ஒரு வாயு என்பது—ஒருவாறு ஈக்களின் கூட்டத்துடன் ஒப்பிடக்கூடிய—விரைந்து இயங்கும் மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட ஒரு பொருள் என்ற பொதுமைக் கருத்து ஓர் உறுதியான அடிப்படையைப் பெற்றது. இது திட்டமான கணித விதிகளுக்கும் இசைந்திருந்தது.

கி. பி. 1865-இல் மிகச் சிறப்பு வாய்ந்த ஓர் அருஞ் செயல் நிகழ்ந்தது. லாஷ்மிட்[47] என்பார், ஓரளவு ஏறத்தாழ இருந்தாலும், முதன்முதலாக அணுக்களின் பருமனைத் தீர் மானித்தார். இதிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட பரிமாணத்தி லுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அறுதியிடப் பெற்றது. இவருக்கு முன்னதாக வாழ்ந்த ராபர்ட் மேயரைப்[48] போலவே, லாஷ்மிட் என்பார் வாயுக்களின் அக-உராய்வினை (Internal friction) ஆராய்ந்தார். இவருக்கு முன்னோடியாக ஆராய்ந்தவர் மேற்கொண்ட பூர்வாங்க ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக, லாஷ்மிட்டுக்கு அணுவின் பருமனைப்பற்றி ஒரு முதற்குறிப்பு கிடைத்தது. இன்னும் அவர் கண்ட முடிவுகள் சரியாகத்தான் இல்லை; ஆயினும், அவர் சென்ற போக்கு நேரிய முறையிலேயே இருந்தது. கிட்டத்தட்ட நாற்பது ஆண்டுகளாகத்தான் அணுவின் பருமன் சரியான முறையில் அறியப்பெற்றுள்ளது. நூறு இலட்சம் அணுக்களை ஒன்றன் பின் ஒன்றாக வரிசையாக ஒரு நேர்க்கோட்டில் அமைத்தால் அவை ஒரு மில்லி மீட்டர் நீளத்திற்குள்ளேயே அடங்கி விடும். இதிலிருந்து அணு எவ்வளவு சிறியது என்பதை ஓரளவு அறிந்து கொள்கின்றோமன்றோ? எனவே, தனிப் பட்ட அணுக்கள் முற்றிலும் கண்ணுக்குப் புலனாகா; அவற்றை நேரடியாக நாம் காணுவதென்பது இயலாத தொன்று. சாளரத்தின்வழியே காணும் கதிரவன் ஒளியில் காணப்பெறும் நுண்ணிய துகள்களைவிட இவ்வணுக்கள் மிக

---

47 லாஷ்மிட்-Loschmidt.

48 ராபர்ட் மேயர்-Robert Mayer.

மிகச் சிறியவை. பருமனைப் பொறுத்தமட்டிலும் இந்த நுண்ணிய துகள்களுடன்தான் அணுக்களை ஒப்பிடலாம் என்று டெமாக்ரீட்டஸ் கருதினார்.

மேலும் முன்னேற்றம்:

அடுத்த சில ஆண்டுகளில் மின்சாரத் துறையைப்பற்றிய அறிவியல் இன்னும் ஒருபடி முன்னேறிச் செல்ல முடிந்தது. ஃபாரடேயின் கண்டுபிடிப்புக்களின்மூலம் மின்னாற்றலின் அணுக்களின் இருப்பு சாத்தியப்படக் கூடியதொன்றாயிற்று என்பது தெரிந்தது; ஆனால், அவை வேதியியல் தனிமங்களின் அணுக்களுடன் கொண்டுள்ள உறவுடன் அறியப் பெறுகின்றனவேயன்றி, தனித்த நிலையில் அன்று. தனித்த நிலையிலுள்ள மின்னாற்றல் அணுக்கள், அஃதாவது சாதாரண சடப்பொருளுடன் பிணைக்கப்பெறாத அணுக்கள், எதிர்முனைக் கதிர்களில் (Cathode rays) ஹிட்டார்ஃப்[49] என்பவரால் கண்டு பிடிக்கப் பெற்றன; இக் கதிர்கள் உயர்ந்த முறையில் மெல்லி தாக்கப்பெற்ற வாயுக்களில் உண்டாகும் மின் இறக்கங்களின் விளைவாக உண்டாகுபவை. ஹிட்டார்ஃப் (கி. பி. 1824-1914) என்பார் காந்தப் புலனில் எதிர்முனைக் கதிர்களின் ஒதுக்கத்தை ஆராய்ந்து, இந்த ஒதுக்க அளவின் காரணமாக மின் ஏற்றத்திற்கும் எதிர்முனைக் கதிர்களில் இயங்கிச் செல்லும் துகள்களின் பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதத்தைக் கணக்கிட முடியும் என்று கண்டறிந்தார். லாஷ்மிட்டின் காலத்திலிருந்து ஒரு தனிப்பட்ட அணுவின் பொருண்மையை நாம் அறிந்திருப்பதாலும், ஃபாரடேயின் கண்டுபிடிப்புக்களின் காரணமாக மின்னாற்றல் அணுக்களின் பருமனை ஏறத்தாழக் கணக்கிடக் கூடுமாதலாலும், தனித்த நிலையில்—எதிர்முனைக் கதிர்களில்—மின்னாற்றலணு உறவு கொண்டிருக்கும் பொருண்மையின் அளவு நாம் சற்று முன்னர்க் குறிப்பிட்ட விகிதத் தொடர்புடன் அறுதியிடப் பெற்

---

49 ஹிட்டார்ஃப்-Hittorf.

றது. மிக அண்மையில் மேற்கொண்ட பல அளவுகளின் விளைவாக, இந்தப் பொருண்மை அணுக்களனைத்திலும் மிக இலேசாகவுள்ள ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மையில் கிட்டத்தட்ட 1840-இல் ஒரு பங்கு என்பது தெரியவந்தது.

தனித்த நிலையிலுள்ள மின்னூற்றலணுக்கள் எலக்ட்ரான்கள் (Electrons) என்று வழங்கப்பெறுகின்றன; இப்பெயரை முதன் முதலில் இட்டவர் ஸ்டோனி[50] என்ற அறிவியலறிஞர்.

அணுத் துகள்கள்:

முக்கியமான மெய்ம்மை ஒன்றனை இவ்விடத்தில் கருதுதல் இன்றியமையாதது. வேதியியல் தனிமங்களின் அணுக்களில் மிக விரிந்த நிலையில் பல்வேறு பொருண்மை அளவுகள் இருத்தல்போல் மின்னூற்றலணுக்களில் அத்தகைய பொருண்மை அளவுகள் காணப்பெறவில்லை. எலக்ட்ரான்கள் எப்பொழுதுமே ஒரே அளவு பொருண்மையுடன்தான் திகழ்கின்றன. இந்நிலை இயற்கையில் ஒருபடித்தான தன்மை இருக்க வேண்டும் என்ற தேவையுடன் மிகச் சிறந்த முறையில் ஒத்திருப்பது கண்டு மகிழத்தக்கது.

ஏதாவது ஒரு முறையில் எலக்ட்ரான்கள் அணுக்களின் பகுதிப் பொருள்களாக இருத்தல்கூடும் என்ற கருத்து அடுத்த ஒரு சில ஆண்டுகளில் படிப்படியாக வளர்ச்சி பெற்றது. ஒரு வியத்தகு மெய்ம்மையும் உள்ளது. அஃது என்னவென்றால், எதிர்மின்னூற்றலைத்தான் தனித்த நிலையில் எலக்ட்ரான்களாகக் காணக்கூடும்; ஆனால், நேர்மின்னூட்டம் எப்பொழுதும் பொருள்களின் அணுக்களுடன் உறவுகொண்ட நிலையிலேயே காணப்பெறும். இந்த அனுபவ மெய்ம்மையினால் இன்னொன்றும் அறியக்கிடக்கின்றது. அஃது என்ன? அணுக்கள் எதிர்மின்னூட்டம் உள்ள எலக்ட்ரான்களை இயைபுக் கூறுகளாகக் கொண்டுள்ளன; ஆகவே, ஓர் எலக்ட்ரான் அணுவிலிருந்து அகற்றப்பெற்றால்தான் எதிர்மின்னூட்ட

---

50 ஸ்டோனி-Stoney.

மும் வெளிப்படையாக மீதூர்ந்து நிற்கும்; இதனுல் இதற்குச் சமபல அளவுள்ள நேர் மின்னூட்டம் எஞ்சியுள்ள அணுப்பகுதியில் பிணைந்து கிடக்கும். ஆனுல், ஐம்பது ஆண்டுகட்கு முன்னர் இந்த நிகழ்ச்சிகளைக் குறித்துத் தெளிவான கருத்தினைப் பெறுதல் முற்றிலும் இயலாததொன்ருக இருந்தது. இப்பொழுது அணுக்களின் எடைகளை ஏறத்தாழ அறிந்து கொண்டுள்ளோம்; அங்ஙனமே, அவற்றின் பரிமாணமும் தெரிந்துவிட்டது. இன்னும், அணுக்கள் மின் சாரப் பண்புகளைப் பெற்றுள்ளன என்பதையும் அறிந்து கொண்டோம்; அவை ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ளன என்பதும் புலனுகியுள்ளது. ஆனுல், அவற்றின் அமைப்பைப்பற்றி ஒன்றும் தெரிந்தபாடில்லை; அங்ஙனமே, அவற்றின் வடிவத்தைப் பற்றிய வினவும் எழுதற்கே இடமில்லை.

இந்தப் பிரச்சினைக்குத் தீர்வு காண வேண்டிய பொறுப்பு இருபதாவது நூற்ருண்டிற்கெனவே ஒதுக்கிவிடப் பெற்றுள்ளது. அணுக்கொள்கையின் வரலாற்றைப்பற்றிச் சிந்தனை செய்து கொண்டிருக்கும் நாம் இப்பொழுதுதான் இருபதாவது நூற்ருண்டினை எட்டிப் பார்க்கின்ருேம். இந்த வரலாற்றின் அடுத்த பகுதி இந்த நூலின் பொருளுடன் மிக நெருங்கிப் பிணைந்துள்ளது. வரும் இயல்களில் நூல் நுவலும் பொருளைக் காணுங்கால் இவ்வரலாறும் விளக்கம் பெறும்.

2. மூலக் கூறுகளும் அணுக்களும்

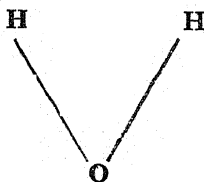
(I) மூலக்கூறின் அமைப்பு

இந்நூல் நுவலும் பொருள் நம் மனத்தகத்தே தெளிவுற அமையவேண்டுவதற்காக, இந்த இரண்டாவது சொற்பொழிவில் முதலில் மூலக்கூறுகளின் அமைப்பைப்பற்றியும் அதன் பிறகு அணுக்களின் அமைப்பைப்பற்றியும் விளக்க முற்படுவோம்.

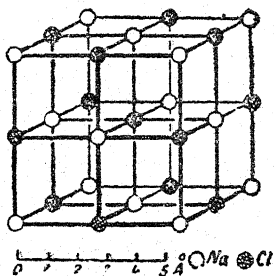
ஒரு வெள்ளித் துண்டைக் கற்பனையில் காணுங்கள். முதலில் அதனைப் பண்படாத பொறிநுட்பக் கருவிகளால் வெட்டலாம்; அதன் பிறகு ஓர் அரத்தைக்கொண்டு இச் சில்லுகளைக் கண்ணுக்குப் புலனுகாத நுண்ணிய துகள்களாக மாற்றலாம். ஆனல், இச் செயல்கள் யாவும் மிகச் சிறிய பகுதித் துகள்களாக மாற்றுவதற்கு உங்களுக்குச் சிறிதும் துணை புரியா. வெள்ளித் துண்டை உங்களுடைய கையைக் கொண்டு தேய்த்தால், மிகச் சிறிய அளவு உலோகம் உங்களுடைய கையில் ஒட்டிக்கொள்ளும். ஆனல், கண்ணுக்குப் புலனுகாத இச் சிறு அளவு உலோகமும் ஏராளமான எண்ணிக்கையுள்ள வெள்ளியணுக்களைக் கொண்டுள்ளது. இறுதியாக, வெள்ளி உருகி ஆவியாகும் வரையிலும்,—அஃதாவது, அது வாயு நிலையை அடையும் வரையிலும்—அதனைச் சூடாக்கலாம். இச் செயல் வெள்ளியை மிகச் சிறிய, இறுதியான துகள்களாக, அஃதாவது அணுக்களாக, உடைத்து விடுகின்றது. ஆயினும், பொறி மூலமாகவோ அன்றி வேதியியல்

செயல் மூலமாகவோ, அதனை மீண்டும் சிதைக்க முடியாது. வெள்ளி ஒரு தூய்மையான தனிமம் ஆகும்.

ஆனால், ஒரு துளி நீரை ஆவியாகச் செய்தால், அது நீர் அணுக்களாகச் சிதைவதில்லை. இந்த முறையில் பெறக்கூடிய மிகச் சிறிய துகள்களை, அஃதாவது நீரின் மூலக்கூறுகளை (Water molecules), மீண்டும் வேதியியல் முறைகளினால் சிதைக்கலாம். ஒரு நீரின் மூலக்கூறில் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவும் அடங்கியுள்ளன. ஆதலின் நீர் ஒரு தனிமம் அன்று.

இத்தகைய மூலக்கூறின் அமைப்பைக் குறித்து நவீன பௌதிக இயல் ஒரு திட்டமான வடிவகணிதப் படத்தை நிறுவியுள்ளது, ஹைட்ரஜன் அணு H என்ற ஒரு குறியீட்டாலும், ஆக்ஸிஜன் அணு O என்ற குறியீட்டாலும் குறிக்கப் பெறுகின்றன. இந்த இரண்டு குறியீடுகளைக் கொண்டு நீரின் மூலக்கூறுகள் அடியிற் கண்ட திட்டமிடப்பட்ட வாய்பாட்டால் காட்டப்பெறுகின்றன.

இங்கு மேலும் ஆராய முடியாத சில காரணங்களினால், நீரின் மூலக்கூறு படம் 1-இல் விளக்கப்படமாகக் காட்டியுள்ளவாறு ஒரு முக்கோண அமைப்பாகக் கற்பனை செய்யப்பெறுகின்றது. இந்த வரைப்படத்தில் நிழல்போன்று காட்டப் பெற்றுள்ள பகுதி அணுக்களின் சராசரி மின் ஏற்ற (Electric charge) வினியோகத்தைக் குறிப்பிடுகின்றது.

இப்பொழுது தனிப்பட்ட மூலக்கூறிலிருந்து சடப்பொருளின் பல்வேறு நிலைகளுக்கு வருவோம். எடுத்துக்காட்டாக, மூலக்கூறிலிருந்து நீராவி, நீர், பனிக்கட்டி ஆகியவற்றைக்

கொள்வோம். இந்தக் கட்புலக் காட்சியை இவ்வாறு விளக்கலாம்: நீராவியில் மூலக்கூறுகள் அதிகமான தூரங்களில், ஓர் ஈக்களின் கூட்டம்போல், ஒரே குழப்ப நிலையில் எல்லாத் திசைகளிலும் பறந்து சென்ற வண்ணம் உள்ளன. அவற்றின் இயக்கம் நீராவியின் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்துள்ளது; மூலக்கூறுகள் ஒழுங்கற்ற நிலையில் இயங்குவதற்கு வெப்பம் முக்கிய காரணமாகவுள்ளது. பெரிய துகள்களாக இருந்தால், ஆற்றல்மிக்க ஒரு நுண்பெருக்கியைத் துணைக்கொண்டு 'பிரௌன் இயக்கம்' என்ற இந்த இயக்கத்தை நன்குகக் கூர்ந்து நோக்கலாம்: பொருளின் வெப்ப நிலை அதிகப்பட அதிகப்பட, இந்த இயக்கமும் தெளிவாகத் துலக்கமடையும்.

படம் 2: சோற்றுப்புப் படிகத்தின் மாதிரி உருவம்

திரவங்களிலும் மூலக்கூறுகள் ஒழுங்கற்ற நிலையிலுள்ளன; ஆனால், அவை நெருக்கமாக இணைக்கப்பெற்றுள்ளன; அவை ஒன்றுக்கொன்று இணைந்தே இயங்குகின்றன. ஒரு கரையான் புற்றில் கரையான்கள் அசைந்து செல்வதை இத்துடன் ஒப்பிட்டுக் கூறலாம். பளிங்கு போன்ற ஒரு திடப் பொருளில் அணுக்கள், அல்லது மூலக்கூறுகள் இம்மாதிரியே இறுக்கமாகத்தான் அடைக்கப்பெற்றுள்ளன; ஆனால், இங்கு அவை முழுதும் ஓர் ஒழுங்கான கோலமாக அமைகின்றன. படம்-2 இந்துப்புப் (Rock salt) படிகத்தின் ஒரு மாதிரி உரு

வத்தைக் காட்டுகின்றது. இந்துப்பு என்பது குளோரின், சோடியம் என்ற தனிமங்களாலான ஒரு வேதியியற் கூட்டுப் பொருளாகும். இங்குக் காட்டப்பெற்றுள்ள படத்தில் கரும் புள்ளிகள் குளோரின் அணுக்களையும் (Cl), வெண் புள்ளிகள் சோடிய அணுக்களையும் (Na) உணர்த்துகின்றன. படிகத்தில் அவை ஓர் ஒழுங்கான கோலத்தில் ஒன்றுவிட்டு ஒன்றாக மாறி மாறி அமைந்துள்ளன. உண்மையில் படிகத்தின் வெப்ப நிலைக்கேற்றவாறு இந்த அணுக்கள் தீவிரமான இயக்க நிலையிலுள்ளன; அவை தம்முடைய சமநிலையின் இருப்பிடங்களை யொட்டி அசைகின்றன. அணுக்களுக்கிடையே சிறிதும் காலிடமின்றி அடைக்கப்பெற்றிருப்பதால் மேற்காட்டிய மாதிரி உருவம் உண்மை நிலைக்குச் சரியான முறையில் பொருந்தவில்லை.

இப்பொழுது எழும் வினா இதுதான்: கட்புலனாகுமாறு அமைக்கப்பெற்றுள்ள மாதிரி உருவங்களின் (Models) உண்மைப் பொருள்தான் என்ன? அவற்றைச் சிறிது ஐயத்துடன் தானே நாம் நோக்கவேண்டும்? ஏனெனில், அணுக்கள் சடப் பொருளின் மிகச் சிறிய அலகுகளாக இருப்பதாகக் கொண்டால், நம் அன்றாட அனுபவத்தில் கண்ணுக்குப் புலனாகக் கூடிய பொருள்களைப்போல் அவை அமையும் என்று எதிர் பார்த்தற்கில்லை. எடுத்துக்காட்டாக, நாம் எடுத்துக்கொண்ட மாதிரி உருவத்திலுள்ளனபோல் அவை கரும்புள்ளிகளாக வும் வெண்புள்ளிகளாகவும் இருக்குமென்று கருத முடியாது. ஒருவர் அவ்வாறு ஐயங் கொள்ளுவது முற்றிலும் சரிதான்; நாம் சடப்பொருளின் இறுதியான, அடிப்படையான பகுதிக் கூறுகளைப்பற்றி ஆராய்ந்து அணுகும்பொழுது நம்முடைய புலன்காட்சியின் (Perception) திறனும் ஓர் எல்லைக்குள் அடங்கிவிடுகின்றது. எனவே, முதலாவதாக நாம் வினவ வேண்டியது இதுதான்: அணுக்களின் சரியான பருமன் என்ன? ஒரு மூலக்கூறினை ஒரு பிலியார்டு பந்து (Billiard ball) அளவு காணப்பெறச் செய்வதற்கு அதனை எந்த அளவு பெருக்கிக் காட்டவேண்டும்? இரண்டாவதாக, நாம் அறிந்து

கொள்ள வேண்டியது: கண்ணுக்குப் புலனாகும் இந்த மாதிரி உருவம் எந்த அளவுக்குச் சரியாக உள்ளது? அஃதாவது, அதைக் குறித்து நாம் கருதிய நோக்கம்தான் என்ன? எதிர் காலத்தில் சிறந்த முறையில் அமையவிருக்கும் நுண்பெருக்கி யில் காணவல்ல உண்மையான மூலக்கூறின் விம்பம் (Image) இதுதானா? அந்த விம்பத்திற்கும் இதற்கும் யாதேனும் நேர் முறையில் கட்புலனாகக் கூடிய குறிப்பு உண்டா?

அணுக்களின் பருமன் :

முதலில் நாம் அணுக்களின் பருமனைப்பற்றிய பிரச் சினையை எடுத்துக்கொள்வோம். எல்லா அணுக்களும் ஒரே மாதிரி பருமன் (Size) உள்ளவையன்று என்பது வெளிப்படை. ஆனால், எல்லா அணுக்களும் கிட்டத்தட்ட ஒரே அளவு (Magnitude) உள்ளவை. ஒரு சென்டிமீட்டர் குறுக்களவுள்ள ஒரு பந்தை பூமியளவு காட்டுவதற்கு எந்த அளவு பெருக்கம் வேண்டுமோ, கிட்டத்தட்ட அந்த அளவுதான் ஓர் அணு வினை 10 சென்டிமீட்டர் குறுக்களவுள்ள ஓர் அமைப்பாகப் பெருக்கிக்காட்டுவதற்கும் வேண்டும். இந்த எடுத்துக்காட் டிலிருந்து மூலக்கூறுகளின் அதிநுட்பமான சிறிய தன்மை யைப்பற்றி ஓரளவு தெளிவாக அறிந்துகொள்ளலாம்.

இரண்டாவது வினாவை, அஃதாவது மூலக்கூறின் மாதிரி உருவத்தின் உட்கருத்தினைக் காண்போம்: அண்மையில் எலக்ட்ரான் நுண்பெருக்கி (Electron microscope) என்ற புதிய தொரு நுண்பெருக்கிஅமைக்கப்பெற்றுள்ளது. சாதாரண ஒளி நுண்பெருக்கி ஒளிக்கதிர்களைப்பயன்படுத்திக்கொள்வதுபோல் இது ஒளிக்கதிர்களைப் பயன்படுத்திக் கொள்வதில்லை; ஆனால், இது எலக்ட்ரான் கதிர்களைப் (Electron rays) பயன்படுத்திக் கொள்ளுகின்றது. இந்த எலக்ட்ரான் நுண்பெருக்கியின் துணையால் ஒளி நுண்பெருக்கியால் அடைவதைவிட மிக அதிகமான பகுப்பாற்றலையும் மிகப் பெரிய அளவு உருப் பெருக்கத்தையும் அடைதல் முடியும். எனவே, அதன் இன் றைய வளர்ச்சியினைக் கொண்டே பெரிய மூலக்கூறுகளைத்

தனித்துகள்களாக நம்மால் காண முடிகின்றது. இந்த உருப் பெருக்கு ஆற்றலை இன்றுள்ளதைவிட இருபது அல்லது முப் பது மடங்கு அதிகரிக்கக் கூடுமானல்—இது மிகவும் கடின மான பிரச்சினையே—தனிப்பட்ட நீரின் மூலக்கூறு ஒன்றினை இத்தகைய நுண்பெருக்கியின் மூலம் நாம் தெளிவாகக் காண இயலும்.

அணுவின் நிலை:

ஆனல், படம்-1இல் காட்டப்பெற்றுள்ள மாதிரி உரு வத்தைப்போல் ஏதாவது பொருளை ஏதாவது ஒரு முறையில் காணமுடியுமா என்பதுதான் முக்கியமான பிரச்சினை. எந்த மூலக்கூறும் அமைதியான நிலையில் இல்லை என்பது ஓரளவு உண்மைதான். வெப்ப நிலையின் செல்வாக்கினுல் அஃது இயங்கிக் கொண்டேயுள்ளது; அதனுடைய பகுதிக் கூறு களும் முறைமாறும் இயக்கமாக (Reciprocal movement) அசைந்து கொண்டேயுள்ளன. எனவே, மூலக் கூறுகளின் திரைக்காட்சிப் பதிவுகளை (Cinematographic records) எடுத் தால், படம்-1இல் காட்டப்பெற்றுள்ளது போன்ற ஒரு நொடிப் படம் (Snapshot) கிடைக்கும். இன்று நாம் பெற் றுள்ள அணுக்கரு பௌதிக அறிவின் காரணமாக இதனை நாம் ஐயுற வேண்டியதில்லை; அதே சமயத்தில் படம்-1இல் காட் டப்பெற்றிருப்பது போன்ற கட்புலனுக்கூடிய மாதிரி உருவங் களையும் நன்கு உணரலாம். எனினும், வெப்ப இயக்கத்தின் (Thermal movement) காரணமாக, இந்தப் படத்தில் சிறு மாற்றங்கள் சதா நிகழ்ந்து கொண்டேயிருக்கும்.

நீரின் மூல்க்கூறில் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவும் மிகச்சரியாக இருப்பதாகப் பௌதிக அறிஞர் எப்படி அறிகின்றுர்? இதற்குப் பதிலாக நான்கு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் இரண்டு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களும் இருப்பதாகக் கொண்டாலும் அவை அதே பொருண்மை விகிதத்தைத்தானே உணர்த்துகின்றன? இந்த விஞவுக்கு விடை காணவேண்டுமாயின் நாம் திரும்பவும் 'வாயுக்கள்

கொள்கை'யைக் குறிப்பிட்டாக வேண்டும்; அதிலும் சிறப்பாக, அவகாட்ரோ[1]வின் கருதுகோளைச் (Hypothesis) சிந்திக்க வேண்டும். மேலே கூறியவாறு, அவருடைய கருதுகோள் இதுதான்: 'ஒரே வெப்ப நிலையிலும் அமுக்க நிலையிலும் சம கனபரிமாணமுள்ள எல்லா வாயுக்களிலும் ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் அடங்கியுள்ளன' என்பது. இந்தக் கருதுகோளிற்குச் சரியான மெய்ப்பிப்பு (Proof) உண்டு; ஆனால், இங்கு நாம் அதனை விளக்கிக் கூறுவதுடன் நிறுத்திக் கொள்வோம். ஒரு வாயுவால் நிரப்பப்பெற்றுள்ள கலத்தின் பக்கங்களிலுள்ள அமுக்கத்திற்குக் காரணம் வாயுவின் மூலக்கூறுகள் தாக்குவதனாலாகும்; விடாது பெய்யும் மழைத்துளிகள் போல இந்த வாயுவின் மூலக்கூறுகள் அப்பக்கங்களைச் சம்மட்டி கொண்டடிப்பதுபோல் தாக்கிக்கொண்டே யிருக்கின்றன; அன்றியும், அம் மூலக்கூறுகள் அவற்றிலிருந்து துள்ளிக் குதித்தெழுகின்றன. இந்தத் தாக்குதல்களின் மொத்த விசைகளின் கூட்டுத்தொகைதான் கலத்தின் பக்கங்களில் அமுக்கத்தை உண்டாக்குகின்றது. இந்த அமுக்கத்தின் அளவு மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றலைப் பொறுத்திருக்கின்றது என்பது வெளிப்படை; மேலும் இயக்க ஆற்றல் (Kinetic energy) வாயுவின் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்துள்ளது. ஒரே வெப்பநிலையில் எல்லா வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளும் எப்பொழுதும் ஒரே சராசரி இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன என்பதை மாக்ஸ் வெல்[2] காலத்திலிருந்தே நாம் அறிவோம். எனவே, சம கனபரிமாணமுள்ள வாயுக்களில் ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் இருந்தால், அதே வெப்ப நிலையில் அவ்வாயுக்களின் அமுக்கமும் ஒரே அளவாகவுள்ளது என்றாகின்றது. அவகாட்ரோவின் கருதுகோளின் உண்மைப் பொருளும் இதுதான்.

அன்றியும், இந்நிலையில் நாம் சில வேதியியல் மெய்ம்மைகளையும் (Chemical facts) குறிப்பிடுதல் வேண்டும். வாயு

1 அவகாட்ரோ-Avagadro. 2 மாக்ஸ்வெல்-Maxwell

நிலையிலுள்ள 2 கிராம் ஹைட்ரஜனும் வாயுநிலையிலுள்ள 16 கிராம் ஆக்ஸிஜனும் சேர்ந்து 18 கிராம் நீராவி உண்டாகின்றது என்று ஏற்கெனவே நாம் குறிப்பிட்டதை அடியிற் கண்ட சமன்பாட்டால் (Equation) உணர்த்தலாம்.

2 கிராம் ஹைட்ரஜன் + 16 கிராம் ஆக்ஸிஜன் = 18 கிராம் நீராவி.

பொருண்மை விகிதத்திற்குப் பதிலாக ஹைட்ரஜனும் ஆக்ஸிஜனும் வெப்ப நிலையில் சேரும்பொழுது நாம் இந்த விகிதத்தைக் கனபரிமாண அடிப்படையிலும் கண்டறியலாம். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு லிட்டர் ஹைட்ரஜனும் $\frac{1}{2}$ லிட்டர் ஆக்ஸிஜனும் சேர்ந்து ஒரு லிட்டர் நீராவியாகின்றன என்பதைச் சோதனைகள் காட்டுகின்றன. எனவே, நாம் அடியிற் கண்ட சமன்பாட்டை அடைகின்றோம்.

1 லிட்டர் ஹைட்ரஜன் + $\frac{1}{2}$ லிட்டர் ஆக்ஸிஜன் = 1 லிட்டர் நீராவி.

இந்த இரண்டு சமன்பாடுகளிலிருந்தும் இந்த மூன்றுவித மூலக்கூறுகளின் பொருண்மை விகிதங்களைப் பகுத்தறிதல் எளிது. எப்பொழுதும் 1 லிட்டர் ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள வாயுவின் மூலக்கூறுகளைக் கொண்டிருப்பதால், நாம் செய்ய வேண்டியதெல்லாம் மூன்று வாயுக்களின் மேற் குறிப்பிட்ட பொருண்மைகளின் விகிதத்தையும் கனபரிமாணங்களின் விகிதத்தையும் தீர்மானிக்க வேண்டியதே; இதனால் மூலக்கூறுகளின் பொருண்மை விகிதப் பொருத்தத்திற்கேற்ற எண்கள் கிடைக்கும். எனவே, நாம் கீழ்க்கண்டவற்றை அடைகின்றோம்.

ஹைட்ரஜன் வாயு, 2 கிராம் லிட்டர்;

ஆக்ஸிஜன் வாயு, 32 கிராம் லிட்டர்;

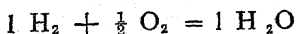
நீராவி, 18 கிராம் லிட்டர்.

ஆகவே, இப் பிரச்சினையிலுள்ள பல்வேறு மூலக்கூறுகளின் சார்புப் பொருண்மைகள் (Relative masses) பின் வருமாறு:

ஹைட்ரஜன் வாயு: ஆக்ஸிஜன் வாயு: நீராவி = 2: 32: 18

அணு-எடையும் மூலக்கூறு-எடையும்:

இந்த உண்மைகளை யெல்லாம் அடக்கி எளிதாகக் கூறும் கருதுகோள் பிற சோதனைகளாலும் உறுதிப்படுத்தப்பெற்றுள்ளது. இக் கருதுகோள் வருமாறு: ஒரு ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறில் 1 அணு-எடையைக் கொண்ட இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் உள்ளன; ஆகவே, அதன், மூலக்கூறு-எடை 2 ஆகும். அங்ஙனமே, ஓர் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறில் 16 அணு-எடையைக் கொண்ட இரண்டு ஆக்ஸிஜன் அணுக்கள் உள்ளன; ஆகவே, அதன் மூலக்கூறு எடை 32 ஆகும். இறுதியாக, ஒரு நீரின் மூலக்கூறில் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவும் உள்ளன; ஆகவே, அதன் மூலக்கூறு-எடை $2 \times 1 + 16 = 18$ ஆகும். இந்தக் கூட்டுப்பொருளை அடியிற் கண்ட வாய்பாட்டால் விவரிக்கலாம்:

$$1\ H_2 + \frac{1}{2}\ O_2 = 1\ H_2O$$

எல்லாத் தனிமங்களின் அணு-எடைகளையும் எல்லா வேதியியற் கூட்டுப்பொருள்களின் மூலக்கூறு-எடைகளையும் இதை யொத்த முறையிலேயே தீர்மானிக்கலாம். ஆக்ஸிஜனின் வேதியியல் அணு-எடையின் 16இல் 1க்குச் சமமாகவுள்ள அளவே அணு-எடையின் அலகாகத் தேர்ந்தெடுக்கப் பெற்றுள்ளது. எனவே, ஆக்ஸிஜனின் அணு-எடை சரியாக 16.0000 ஆகின்றது. இங்ஙனமே, மூலக்கூறு-எடையும் அதே மூல அளவில் அளந்து கண்ட மூலக்கூறுப் பொருண்மையின் தரமான அளவாகும் (Standard measure).

ஏற்கெனவே நாம் 'மோல், (Mol or Mole) எனப்படும் அலகினைக் குறிப்பிட்டுள்ளோம். ஒரு மோல் என்பது, ஒரு பொருளின் மூலக்கூறு-எடை எந்த எண்ணால் குறிக்கப்பெறு கின்றதோ அத்தனை கிராம் அப் பொருளின் எடை ஆகும். எனவே, ஹைட்ரஜன் வாயுவின் (H_2) ஒரு மோல் என்பது 2 கிராம்; ஆக்ஸிஜன் வாயுவின் (O_2) ஒரு மோல் என்புது 32 கிராம்; நீரின் (H_2O) ஒரு மோல் என்பது 18 கிராம். எனவே, பல்வேறு பொருள்களின் ஒரு மோலின் பொருண்மைகள் முறையே அப்பொருள்களின் மூலக்கூறு-எடைகளுக்குச் சமமாக இருக்கும்; அஃதாவது, அவற்றின் தனிப்பட்ட மூலக்கூறுப் பொருண்மைகளுக்குச் சமமாக இருக்கும். ஆகவே, ஒரு மோல் அளவுள்ள எந்த ஒரு பொருளிலும், மிகச்சரியாக அதே எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் அடங்கி உள்ளன என்றுகின்றது. இதனை யொட்டியே ஒரு தனிமத் தின் அணு-எடை எவ்வளவோ அத்தனை கிராம் எடை யுள்ள அத்தனிமத்தைக் கிராம்-அணு (gramme-atom) என வழங்குகின்றோம். எனவே, 1 கிராம்-அணு ஹைட்ரஜன் (H) என்பது 1 கிராம்; 1 கிராம்-அணு ஆக்ஸிஜன் (O) என்பது 16 கிராம். ஆகவே, எந்த ஒரு தனிமத்தின் 1 கிராம்-அணுவில்அடங்கியுள்ளஅணுக்களின் எண்ணிக்கைஎப் பொழுதும் ஒருமோல்அளவு அப்பொருளில் அடங்கி இருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாக இருக்கும் என்பது தெளிவாகின்றது. இத்தகைய கருத்துக்களைப்பற்றிய அறிவு மிகவும் இன்றியமையாதது; எனெனில், மூலக்கூறுகளையோ அல்லது அணுக்களையோ நிறுத்து அவற்றின் எண்ணிக்கை களைக் கணக்கிட இவ்வறிவு துணையாக அமைகின்றது; இக் காரணத்தாலேயே ஒரு மோல் கொண்டுள்ள மூலக்கூறுகளின் சரியான எண்ணிக்கையை அறிந்து கொள்வதும் மிகமிக இன்றியமையாததாகும். ஏற்கெனவே நாம் குறிப்பிட்டது போல, இந்த எண்ணிக்கை முதலில் சரியாகவே—ஓரளவு அளவின் ஒழுங்கையொட்டி-லாஷ்மிட்[3] என்பாரால் 1865-இல்

---

3 லாஷ்மிட்டு-Loschmidt.

கணக்கிடப்பெற்றது. ஆனால், 1900-இல்தான் பிளாங்கின் கதிர்வீச்சு விதியின்[4] அடிப்படையில் நம்பத் தகுந்த கணக்கீடு (Calculation) முதன் முதலாகச் செய்யப்பெற்றது. இன்று, இந்த முக்கியமான லாஷ்மிட்டு எண்ணின் (L) மிகவும் நம்பத் தகுந்த எண் மதிப்பு: $6 \cdot 024 \times 10^{23}$ என்பது*

இதன் பொருள் என்னவெனின், ஒரு பொருளின் I மோல்—எடுத்துக்காட்டாக 32 கிராம் ஆக்ஸிஜன் வாயு—கிட்டத்தட்டப் பத்து இலட்சத்தின் நான்கு அடுக்கு[5] மூலக் கூறுகளைக் கொண்டுள்ளது என்பது.

லாஷ்மிட்டு எண்:

மேலும், லாஷ்மிட்டு எண் வழக்கிலுள்ள கிராம் என்ற அலகில் தனிப்பட்ட அணுக்களின் பொருண்மைகளையும் தனிப்பட்ட மூலக்கூறுகளையும் பொருண்மைகளையும் பற்றிச் சரியான அறிவினைத் தருகின்றது. ஒரு மோல் ஹைட்ரஜன் வாயு 2 கிராம் எடையாக இருப்பதால் அதனை லாஷ்மிட்டு எண்ணால் வகுத்து ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறின் (H_2) எடை $3 \cdot 34 \times 10^{-24}$ கிராம் என்று எளிதில் கண்டறியலாம்; ஆகவே, ஹைட்ரஜன் அணுவின் (H) பொருண்மை $1 \cdot 67 \times 10^{-24}$ கிராம் ஆகும். எல்லாவித அணுக்களின் அமைப்பும் மூலக்கூறுகளின் அமைப்பும் தெரிந்திருந்தால், அணுக்களின் பொருண்மைகளையும் மூலக் கூறுகளின் பொருண்மைகளையும் கணக்கிட்டு அறிதல் கூடும்.

---

4 பிளாங்கின் கதிர்வீச்சு விதி-Planck's radiation law.

*லாஷ்மிட் எண்ணாகிய $6 \cdot 024 \times 10^{23}$ என்பதுதான் அவகாட்ரோ எண் (Avagadro number) என்று வழங்கி வருகின்றது.

5 பத்து இலட்சத்தின் நான்கு அடுக்கு-Quadrillion; அஃதாவது, $(1{,}000{,}000.)^4$

எலக்ட்ரானின் மின்ஏற்றம்:

இப்பொழுது நாம் மின் பருக்கைமூலம் அணு அல்லது மூலக்கூறுடன் தொடர்பு படுத்தப்பெற்ற மின் ஏற்ற அளவினைப் பற்றி—மின்னணு அல்லது எலக்ட்ரானைப்பற்றி—நம் கவனத்தைச் செலுத்துவோம். ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு மின்னாற்றல், அஃதாவது,

$F = 96{,}520$ கூலாங்கள்

என்பது, 1 கிராம்-அணு அளவுள்ள ஒரு-வலுவெண் பொருளுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது என்பதை ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டுள்ளோம். ஆனால், இந்த மின்ஏற்றத்தின் அளவை அறிந்து போற்றுதல் (Appreciate) என்பது மிகவும் கடினமானது. சோதனைக் கூடத்தில் ஏதாவது ஒரு பொருளில் உண்டாக்கக் கூடிய மின்ஏற்றத்தைவிட இது மிகவும் அதிகம் என்றே சொல்ல வேண்டும். பூமியும் சந்திரனும் தனித்தனியாக இந்த அளவு மின்ஏற்றத்தைப் பெற்றிருக்குமேயானால், அவை மிகத் தொலைவில் இருந்த போதிலும்கூட, பல நூற்றுக்கணக்கான கிலோகிராம்களின் அளவு விசையுடன் ஒன்றை யொன்று ஈர்க்கும், அல்லது விலக்கும். இந்த மின்ஏற்றம்தான் 1 கிராம்-அணு அளவு ஒரு-வலுவெண் பொருள் சுமந்து செல்லும் அளவு ஆகும். ஆனால் 1 கிராம்-அணு, என்றும் ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள அணுக்களைக் கொண்டிருப்பதால் (லாஷ்மிட்டு எண்), Fக்குச் சமமான மின்ஏற்றத்தை லாஷ்மிட்டு எண்ணால் வகுத்துத் தனிப்பட்ட ஓர் ஒரு-வலுவெண் அணு சுமந்து செல்லும் மின்ஏற்றத்தைத் தீர்மானிக்கலாம்; இந்த மின்ஏற்றம் e என்பது; $e = 6{\cdot}1 \times 10^{-19}$ கூலாங்கள், அல்லது 4.8×10^{-10} நிலை மின் இயல் அலகுகள்; ஆகவே, அது மிகச் சிறிய அளவாகும். மின்னாற்றலணுவின் இந்த மின்ஏற்றமே **அடிப்படை மின்னாற்றல் குவாண்டம்** என்று வழங்கப்பெறுகின்றது; ஏனெனில், எந்த மின்ஏற்றமும்—நேர் மின்ஏற்றமாயிருப்பினும் சரி, எதிர் மின்ஏற்றமாயிருப்பினும் சரி—முழு எண் மடங்கியாகவே

(Integral multiple) இருத்தல் கூடும்.* இந்த எண்ணும் வேறு பல முக்கியமான அணுக்கரு பௌதிகம்பற்றிய மாறிலிகளும் இந்தப் புத்தகத்தின் இறுதியில் **அட்டவணை—1இல்** தரப் பெற்றுள்ளன.

மின் மண்டலத்திலும் காந்தப் புலத்திலும் எலக்ட்ரான்களின் மின்ஏற்றத்திற்கும் அவற்றின் பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதம் எதிர்முனைக் கதிர்களின்—அஃதாவது எலக்ட்ரான்களின்—ஒதுக்கத்தின் அடிப்படையில் அறுதியிடப் பெற்றது என்பதை ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டுள்ளோம். அவற்றின் மின்ஏற்றத்தின் அளவு தெரிந்திருந்தால், எலக்ட்ரானின் பொருண்மையைக் கணக்கிட முடியும். அது கிட்டத்தட்ட ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மையில் $\frac{1}{1840}$ ஆகும்; அஃதாவது, 9.1×10^{-28} கிராம் ஆகும். **அட்டவணை—1 இல்** அது நிலைப் பொருண்மை (Rest mass) என்று குறிப்பிடப் பெற்றுள்ளது. காரணம், ஒவ்வொரு பொருளின் பொருண்மையும் அதன் நேர் வேகத்தையொட்டி (Velocity) அதிகரிக்கின்றது.

நேர் மின்ஏற்றம் பெற்ற எலக்ட்ரான்:

அண்மைக் காலம் வரையில், எதிர் மின்ஏற்றம் கொண்ட எலக்ட்ரான்கள் மட்டிலுமே அறியப்பெற்றிருந்தன. கடந்த முப்பதாண்டுக் காலத்தில்தான் நேர் மின்ஏற்றம் பெற்ற எலக்ட்ரான்கள் **(Positively charged electrons)** கண்டறியப் பெற்றன. சாதாரண நிலையில் இந்த நேர்மின்ஏற்றம் பெற்ற

---

*ஆங்கில மொழிபெயர்ப்பாளரின் குறிப்பு: இந்த அடிப்படை மின்னூற்றல் குவாண்டம் (Elektrisches elementar Quantum) ஆங்கிலம் பேசப்பெறும் நாடுகளில் **'எலக்ட்ரானிக் ஏற்றம்'** (Electronic charge) என்று பெருவழக்காக வழங்கப் பெறுகின்றது. எனினும், இந்தப் புத்தகம் முழுவதிலும் முதலில் குறிப்பிடப்பெற்ற சொற்றொடரே மேற்கொள்ளப் பெற்றுள்ளது.

எலக்ட்ரான் அற்ப ஆயுளையுடையது; அது தோன்றியவுடன் மறைந்து விடுகின்றது. இல்லாவிட்டால், அணுநிலை அளவுப் பொருண்மைகளுடன் தொடர்பு கொண்ட, ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அடிப்படை மின்னூற்றல் குவாண்டங்களுக்குச் சமமான நேர் மின்ஏற்றமும் எப்பொழுதுமே தோன்றும். இந்த மெய்ம்மையிலிருந்து அணுவின் பொருண்மை நேர்மின்ஏற்றத்துடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது என்றும், இந்த நேர்மின்ஏற்றம் எதிர் மின்ஏற்றம் கொண்ட எலக்ட்ரான்களால் நடுநிலையாக்கப் பெறுகின்றது என்றும், எலக்ட்ரான்களின் இழப்பு அல்லது அடைதல் காரணமாக அயனிகள் (Ions) உண்டாகின்றன என்றும் பெறப்படுகின்றன. ஆனால், இந்தப் பொதுமைக்கருத்திலிருந்து சரியான அணுவின் மாதிரி உருவத்தைப் (Atom model) படைப்பதற்கு இன்னும் நெடுந்தூரம் இருந்தது.

(ii) ரதர்ஃபோர்டு[6] அணுவின் மாதிரி உருவம்

எக்ஸ்-கதிர் கண்டுபிடிப்பு:

பத்தொன்பதாவது நூற்றாண்டின் இறுதியின் சிறிது காலத்திற்கு முன்னர், அணுக்கரு பௌதிகத்தின் முன்னேற்றத்திற்கு வழிஅமைந்தது. அணுக்கரு பௌதிகத்திற்கு நேர்த் தொடர்பற்ற ஒருகண்டுபிடிப்பால்அது தொடங்கப்பெற்றது; அதுதான் 1895.இல் வில்ஹெல்ம் ராண்ட்ஜென்[7] என்பாரின் எக்ஸ்-கதிர்க் கண்டுபிடிப்பு ஆகும். இக் கண்டுபிடிப்பின் முதல்விளைவு புதியவகைக் கதிர்வீச்சினைப்பற்றிய அறிவு மட்டிலுமே இப்புதிய கதிர்வீச்சு மானிடப் புலன்கட்கு நேராக எட்டாதிருந்தபோதிலும், பௌதிக சோதனைக் கூடத்தில் அளக்கப்பெறுதல் கூடும். அடர்ந்த மடிப்புக்களா

6 ரதர் ஃபோர்டு-Ruther ford.

7 வில்ஹெல்ம் ராண்ட்ஜென்-Wilhelm Rontgen.

லான சடப்பொருளையும் ஊடுருவிச் செல்லக்கூடிய இதன் ஆற்றல் இவ்வுலகம் முழுவதையும் வியப்புக் கடலில் ஆழ்த்தியது.

கதிரியக்கம் :

அடுத்த ஆண்டில், அத்தகைய இயல்புள்ள பிறவகைக் கதிர்களைக் கண்டறிதல் வேண்டும் என்று ஈடுபட்ட முயற்சியின் விளைவாக ஹென்றி பெக்குரல்[8] என்பார் சில பொருள்கள்,—முக்கியமாக யுரேனியத்தின் கூட்டுப்பொருள்கள்,— இவ்வாறு ஊடுருவிச் செல்லக்கூடிய ஆற்றலுள்ள சில கதிர்களை வெளிவிட்டன என்றும், இவ்வாறு வெளிவிடுதல் புறத் தூண்டுதல் யாதொன்றுமின்றித் தானாகவே நடைபெற்றது என்றும் மெய்ப்பித்தார். இந்த நிகழ்ச்சி 'கதிரியக்கம்' என்று வழங்கப்பெற்றது; அணுக்களைப்பற்றிய நவீனக் கொள்கையின் வளர்ச்சி முழுவதும் இக் கண்டுபிடிப்பினையொட்டியே அமைந்துள்ளது. தொடர்ந்தாற்போல் பிற முக்கியமான வளர்ச்சிகளும் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக விரைந்தன. 1898-இல் குயூரி தம்பதிகள் யூரேனியத்திலிருந்து மிகத்தீவிரமாகக் கதிர்களை வீசக்கூடிய ஒரு பொருளைப் பிரித்தெடுத்தனர். அப்பொருளின் மிக உறைப்பான 'கதிரியக்கப் பண்பு'களை யொட்டி அவர்கள் அதனை 'ரேடியம்' என்று வழங்கினர். ஆங்கிலத்தில் 'ரேடியம்' என்பதற்குக் 'கதிர்களை விடுவது' என்பது பொருள்.

மூவகைக் கதிர்கள்:

ஏறக்குறைய அதே சமயத்தில், நவீன அணு பௌதிகத்தின் தந்தையாகிய எர்னெஸ்டு ரதர்ஃபோர்டு[9] என்பார் அதன் வளர்ச்சியில் பங்கு கொண்டார். அப் பெருமான

---

8 ஹென்றி பெக்குரல்-Henri Becquerel.

9 எர்னஸ்டு ரதர்ஃபோர்டு-Ernest Rutherford.

நியூஸிலாந்து[10] நாட்டில் நெல்சன்[11] என்ற நகரில் **1871**-இல் தோன்றினார்; **1936**-இல் இங்கிலாந்து[12] நாட்டில் கேம்பிரிஜ்[13] நகரில் மறைந்தார். கதிரியக்கம் என்ற நிகழ்ச்சி அறிவிக்கப் பெற்ற சிறிது காலத்திற்குப் பிறகு, அவர் பல்வேறு வகைப் பட்ட கதிர்கள் கதிரியக்கப் பொருள்களால் விடுவிக்கப்பெறு கின்றன என்பதைக் கண்டார்; சடப்பொருளில் அக்கதிர்கள் உட்கவரப்பெறும் பல்வேறு திறன்களிலிருந்து அவை வேறு படுத்தி அறியப்பெற்றன. அவை ஆல்பாக் கதிர்கள் என்றும் பீட்டாக் கதிர்கள் என்றும், காமாக்-கதிர்கள் என்றும் வழங்கப் பெறுகின்றன. ஆல்பாக் கதிர்களும் பீட்டாக் கதிர்களும் காந்தப்புலனால் ஒதுக்கப்பெறுகின்றன; இதிலிருந்து அவை மின்ஏற்றம் பெற்றவை என்பது புலனாகின்றது. ஆல்பாக் கதிர்கள் நேர் மின்ஏற்றம் (Positive charge) பெற்றவை; பீட்டாக் கதிர்கள் எதிர் மின்ஏற்றம் (Negative charge) கொண்டவை. காமாக்கதிர்கள் மின்ஏற்றம் பெறாதவை; ஆதலால் அவை காந்தப்புலனால் ஒதுக்கப்பெறுவதில்லை.

கதிர்களின் பண்புகள்:

ஆல்பாக் கதிர்களை இன்னும் திட்டமாக ஆராய்ந்ததில் அவை விரைவாக இயங்கிச் செல்லும் துகள்களாலானவை என்றும், ஒவ்வொரு துகளும் இரண்டு குவாண்டங்கள் அளவு நேர் மின்சாரத்தைச் சுமந்து செல்லுகின்றன என்றும். அவற்றின் பொருண்மை ஹீலிய அணுவின் (Helium atom) பொருண்மைக்குச் சமமானதென்றும் (அணு-எடை 4) முடிவாகத் தெரிந்தன. பீட்டாக் கதிரியக்கத்திலடங்கிய துகள்கள் ஒவ்வொன்றும் ஒரே ஓர் குவாண்டம் அளவு எதிர்

---

10 நியூஸிலாந்து-New Zealand.

11 நெல்சன்-Nelson.

12 இங்கிலாந்து-England.

13 கேம்பிரிட்ஜ்-Cambridge.

மின்சாரத்தைச் சுமந்து செல்லுகின்றது; ஒவ்வொரு துகளின் பொருண்மையும் எலக்ட்ரானின் பொருண்மைக்குச் சமமானது. அஃதாவது, பீட்டாக் கதிர்கள் விரைந் தியங்கும் எலக்ட்ரான்களாலானவை. இறுதியாக, காமாக் கதிர்கள் பொதுப்பண்புகளில் எகஸ்-கதிர்களை யொத் துள்ளன.

வில்சன் முகில் அறை:

இக் கதிர்களைக் கண்களினால் இனமறிந்து காண்பதற்கு **வில்சன்**[14] என்பாரால் சிறந்த முறையொன்று கண்டறியப் பெற்றது. 'முகில் அறை' எனப்படும் அறையொன்றில் நிறை நிலையில் (Saturated) நீராவியைக்கொண்ட காற்று திடீரென விரிவடையச் செய்யப்பெறுகின்றது; அதன் பயனாக அது குளிரடைகின்றது; ஆகவே, நீராவி நிறை நிலையை அடைந்து நீராக மாறத் தொடங்குகின்றது; சிறிது நேரம் அது அதிநிறைநிலையிலேயே இருக்கின்றது. இந்தச் சமயத் தில் ஆல்பாத் துகளொன்று அந்த அறையைக் கடந்து சென்றால், அது தன் வழியிலுள்ள காற்றணுக்களின் எலக்ட் ரான்களைக் கிழித்து எறிந்து விடும்; நேர்மின்ஏற்றம் பெற்ற காற்றின் மூலக்கூறுகள் அப்படியே நின்றுவிடும். இந்த நேர்மின்ஏற்றம் பெற்ற காற்றின் மூலக்கூறுகள் 'நேர் அயனி கள்' (Positive ions) என்று வழங்கப்பெறுகின்றன. இந்த அயனிகள் அதிநிறை நிலையிலுள்ள நீராவியை மேலும் திரவ நிலைக்குச் சுருங்கச் செய்வதால், அவை 'நீர்ப்பொருள் நிலை அணுக்கருக்களாக' (Condensation nuclei) மாறுகின்றன; அவற்றைச் சுற்றி நீராவி சிறிய துளிகளாகத் திரவ நிலைக்குச் சுருங்குகின்றன. இவ்வாறு, துகளின் பாதை முழுவதும் மிக நுட்பமான நீர்த்துளிகளின் சுவடு ஏற்பட்டு அதன் வழியைக் காட்டும் படம் உண்டாக்கப்பெறுகின்றது. இது மிக உயரத் தில் பறந்து செல்லும் வானவூர்தியின் பின்புறம் உண்டாகும்

---

14 வில்சன்-Wilson.

'திரவமாகச் சுருங்கிய நாண்கள்' (Condensation bands) போல் காணப்பெறும். இந்த நிகழ்ச்சி படம்-3(a)யிலும் படம்-3(b)யிலும் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

துகள்களின் சுவடுகள்:

கதிரியக்கத் தயாரிப்பு முகில் அறையின் கண்ணுக்குப் புலனாகும் பகுதியில் அடங்கியுள்ளது. தனிப்பட்ட ஆல்பாத் துகள்களின் சுவடுகளை எளிதாகக் காணலாம்; அவை யாவும் கிட்டத்தட்ட ஒரே அளவு நீளமான தொகுதிகளாக அமைகின்றன. படப் 3-(a) இல் வெவ்வேறு 'வீச்சுகளுள்ள' இரண்டு தொகுதிகளை எளிதில் காணலாம்.

படம் 3-(b) யிலுள்ள சுவடுகளில் ஒன்று தெளிவான ஒதுக்கத்தைக் (Sharp deflection) காட்டுகின்றது. ஆல்பாத்-துகளுக்கு, சாதாரண நிலையினின்றும் மீறி ஏதோ ஒன்று நிகழ்ந்திருக்கவேண்டும் என்பது வெளிப்படை. அஃது அணுவின் உட்கருவின் அருகில் வந்திருக்க வேண்டும்; அதனாலும் ஒதுக்கப்பெற்றிருத்தல் வேண்டும். ஆயினும், முறைப்படி துகள்கள் ஒரு நேர்க்கோட்டில்தான் இயங்குகின்றன; பெரும்பாலும் அவற்றின் வீச்சும் 2 செ.மீ. முதல் 10 செ.மீ. வரை உள்ளது.

ஆல்பாத் துகள்கள் ஒரு நேர்க்கோட்டில் நீண்டதூரம் செல்லுகின்றன என்பது வியப்படையக் கூடியதொன்று. ஏனெனில், அவை தம்முடைய வழியில் ஏராளமான அணுக்களை மோதிக்கொண்டு செல்லுகின்றன என்பதைக் கணக்கிடுவது எளிதாக அமைகின்றது. அதிகமான நீர்த்துளிகள் உண்டாவதிலிருந்து நாம் பெறக்கூடிய வெளிப்படையான ஊகம் இது. ஆகவே, அணுக்கள் இத்தகைய சிறிய பருமனுள்ள துகள்களால் ஊடுருவிச் செல்லக் கூடியவை அன்று என்று ஏற்படுகின்றது; ஆயினும், உண்மையில் இத் துகள்கள் யாதொரு தடையுமின்றி அணுக்களைத் துளைத்துச்செல்லக் கூடியவையே. எனவே, அவை தம்முடைய வழியில்

யாதொரு தீவிரமான தடையையும் எதிர்த்துச் செல்வதில்லை; ஆனால், அவை அத்தகைய தடையைச் சந்திக்க நேரிட்டால், அவற்றின் சுவடுகள் நாம் படம்-3 (a)யில் காண்கின்றதுபோல் அத்தகைய ஒதுக்கங்களைக் காட்டும்.

அணுவின் அமைப்பு:

இன்னும் சற்று முன்னதாகவே லெனார்டு[15] என்பார் சடப்பொருளின் வழியாக வேகமாக இயங்கிச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களின் போக்கை ஆராய்ந்து, அவை அளவு மீறித் தடித்த அடுக்குகளைக் கொண்ட சடப்பொருளையும் ஊடுருவிச் செல்லக் கூடியவை என்று கண்டறிந்தார். ஆகவே, ஓர் அணு அடைத்துக் கொண்டுள்ள வெளி பெரும்பாலும் வெறுமையாகவே இருக்கவேண்டும் என்றும், ஓர் எலக்ட்ரான் செல்லும் வழி தனிப்பட்ட விசையின் நடுமையங்களால் பாதிக்கப்பெறுகின்றது என்றும் ஓர் முடிவுக்கு வந்தார். இந்த நடுமையங்களை அவர் 'டைனமைட்ஸ்'[16] என்று வழங்கினார். இத்தகைய ஆராய்ச்சியின் விளைவாக ரதர்ஃபோர்டு என்பார் அணுவின் மாதிரி உருவத்தை முதன் முதலாக அமைப்பதில் ஈடுபட்டார். அவர் மெல்லிய உலோகத் தகடுவழியாக ஆல்பாத் துகள்கள் செல்லும் சுவடுகளை ஆராய்ந்து மிகக் குறைவான தெளிவான ஒதுக்கங்களின் அடிப்படையில், அணுவின் மிகச்சிறிய பகுதியே ஆல்பாத் துகள்களுக்குத் தடையை உண்டாக்கியது என்றும், மிகவும் சிறிதாகவுள்ள இப்பகுதியில்தான் அணுவின் பொருண்மை முழுவதும் அடங்கியுள்ளது என்றும் முடிவுக்கு வந்தார். இம் முடிவு சரியில்லை என்பதாயின், நிலைமீட்புத் தாக்குதல்கள் (Elastic impacts)பற்றிய விதிகள் சில சமயம் கண்ணால் காணக்கூடிய ஏராளமான ஒதுக்கங்கள் நிகழ்வதைச் சாத்தியப்படாது செய்து விடும். தம்முடைய சோதனைகளின்

15 லெனார்டு-Lenard.

16 டைனமைட்ஸ்-Dynamides.

அடிப்படையில் ரதர்ஃபோர்டு உண்மையாகவே பொருண்மையால் நிரப்பப்பெற்றுள்ள வெளியின் பருமனளவினைக் கணக்கிட முடிந்தது; இந்த வெளியைத் தவிர எஞ்சியுள்ள வெளி முழுவதும்—நடைமுறையில்—வெட்ட வெளியாகவே இருக்க வேண்டும் என்ற முடிவுக்கும் வந்தார். ரதர்ஃபோர்டுடன் சேர்ந்து பணியாற்றிய கைகர்[17] என்பாரும் மார்ஸ்டென்[18] என்பாரும் மேலும் நேர் மின்ஏற்றம் பெற்ற ஆல்பாத் துகள்களின் ஒதுக்கங்கள் மின் விசைகளால் உண்டாக்கப்பெறுகின்றன என்றும், அவ்வாறு உண்டாவதற்குக் காரணம் அணுவின் நடுப்பகுதியிலுள்ள நேர் மின்ஏற்றமே என்றும் நிலைநிறுத்துவதில் வெற்றி கண்டனர். எனவே, நாம் நன்ருக அறிந்துள்ள கூலோம்பின் விதிப்படி அணுவின் இந்த நடுப்பகுதியும் ஆல்பாத் துகள்களும் ஒன்றையொன்று வெறுத்துத் தள்ளின என்று அறிகின்ருேம்.

ரதர்ஃபோர்டு அமைத்த அணுவின் மாதிரி உருவம்:

இந்த முடிவுகளின் அடிப்படையில்தான் ரதர்ஃபோர்டு அடியிற் கண்ட அணுவின் மாதிரி உருவத்தை[19] அமைத்தார்: அணுவில் நேர் மின்ஏற்றம் பெற்ற உட்கரு அடங்கியுள்ளது; இவ்வுட்கருவில் அணுவின் பொருண்மை முழுவதும் அடங்கியிருக்கின்றது. ஆனுல், இவ்வுட்கரு அணுவின் மொத்த அளவில் மிகச்சிறிய பகுதியையே அடைத்துக்கொண்டுள்ளது. உட்கருவின் நேர் மின்ஏற்றம் எலக்ட்ரான்களின் ஊட்டத்திற்குச் சரி சமமாகச் செய்யப்பெற்றுள்ளது; உட்கருவிலிருந்து உண்டாக்கக்கூடிய கவர்ச்சியால்இந்த எலக்ட்ரான்கள் சிறைப்படுத்தப்பெற்று உட்கருவினைச் சுற்றி மிகத் தொலைவிடங்களில் சுழல்கின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் அணு அமைப்பில் உட்கருவின் வெளிப்பகுதியாக உள்ளன. கோள்

---

17 கைகர்-Geiger. 18 மார்ஸ்டென்-Marsden.
19 அணுவின் மாதிரி உருவம்-Atom model

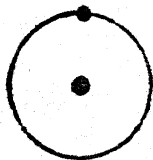
நிலையில் சுழன்று கொண்டுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை உட்கருவின் மின்னூட்டத்தையொட்டி அறுதியிடப் பெறுகின்றது. ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும் ஓர் அடிப்படை அளவு எதிர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருப்பதால், எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை உட்கருவிலடங்கியுள்ள நேர் மின்னூட்ட அடிப்படை அளவுகளின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். காரணம் என்னவென்றால், அப்பொழுது தான் அணு முழுவதும் மின்சார சமனிலையில் இருக்கும். எனவே, எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அணுவின் எல்லாப் புறப்பண்புகளையும் அறுதியிடுகின்றது என்பது தெளிவாகின்றது; சிறப்பாக, அது வேறு அணுக்களிடம் செலுத்தக் கூடிய விசைகளையும்அறுதியிடுகின்றது. அஃதாவது, அவற்றின் வேதியியற் பண்புகளும் உட்கருவின் மின்னூட்டத்தால் இறுதியாக அறுதியிடப்பெறுகின்றன.

அணுவின் அளவுகள்:

அணுவினுள் அடங்கியுள்ள அளவுகளைப்பற்றி ஓரளவு அறிந்து கொள்வதற்காக, உட்கருவின் புற அமைப்புடன் கூடிய அணுவொன்றினைக் கற்பனையில் காண்போம்; இந்த அணுக்கோளத்தின் குறுக்களவு கிட்டத்தட்ட 10 செ. மீ. ஆக இருக்கட்டும். இத்தகைய அணுவின் மாதிரி உருவத்தில் எலக்ட்ரான்களையும் உட்கருவினையும் அவற்றின் சரியான விகித முறைகளில் அமைத்துக்காட்டுவதென்பது மிகவும் கடினமானது; அந்த அளவுகள் மிகச் சிறியவையாதலின், நம்மால் அவ்வாறு அமைத்துக் காட்ட இயலாது. இத்தகைய அணுவின் மாதிரி உருவத்தில் உட்கரு கிட்டத்தட்ட $\frac{1}{100}$ மில்லி மீட்டர் குறுக்களவுள்ள மிக நுண்ணிய துகள்போல் காணப்பெறும்; எலக்ட்ரான்களும் ஏறக்குறைய அதே அளவில்தான் இருக்கும்.

ஹைட்ரஜன் அணுவின் அமைப்பு:

அணுக்கள் எல்லாவற்றிலும் மிகவும் இலேசானது ஹைட்ரஜன் அணு. அதிலுள்ள உட்கரு ஓர் அடிப்படைக் குவாண்

டம் அளவு மின்சாரத்தைக் கொண்டுள்ளது. ஆகவே அத னைச்சுற்றி ஓர் ஒற்றை எலக்ட்ரான் சுழன்று வருகின்றது. இதில் உட்கரு ஓர் அலகு மின்னூட்டத்தைப் பெற்றுள்ளது; அஃதாவது அதன் மின்னூட்ட எண் 1. இந்த அணுவினை நாம் கண்ணால் காணும் மாதிரி உருவமாக அமைக்க வேண்டு மாயின், கதிரவனைச் சுற்றி ஒரு கோள் இயங்கி வருவதுபோல் உட்கருவினைச் சுற்றி ஓர் எலக்ட்ரான் இயங்கி வருகின்றது என்ப தாகக் கொள்ளல் வேண்டும்; இல்லாவிட் டால் எலக்ட்ரான் உட்கருவினுள் விழுந்து விடும். ஆகவே, நாம் எலக்ட்ரான் செல்லும் பாதையை வரைதல் வேண்டும். தற்சமயம் அஃது ஒரு வட்டவடிவமான அயனப் பாதை யில் இயங்கி வருவதாகக்கொள்ளுவோம். (படம்-4)

படம்-4: ஹைட்ர ஜன் அணுவின் உருவம்

ஹீலிய அணுவின் அமைப்பு:

எல்லா அணுக்களிலும் ஹைட்ரஜன் அணுதான் மிகவும் எளிதானது. இதற்கு அடுத்தது 2 மின்னூட்ட எண்ணினைக் கொண்ட ஹீலிய அணுவாகும். அதில் இரண்டு அடிப்படைக் குவாண்டங்கள் அளவு மின்சாரம் அதன் உட்கருவிலும், இரண்டு கோள்நிலை எலக்ட்ரான்கள் உட்கருவின் புறஅமைப் பிலும் அடங்கியுள்ளன. இவ்வாறே, தற்சமயம் நாம் அறிந் துள்ள மிகப் பளுவானதும் 96 மின்னூட்ட எண்ணைக் கொண்டதுமான குயூரியம் அணு வரையிலும் அமைந்துள் ளது.* இப் பொருள்பற்றிய தேவையான எல்லாத் தகவல் களும் இந்த நூலின் இறுதியில், அட்டவணை II இல், தரப்பெற்றுள்ளன.

---

* இன்று 104 மின்னூட்ட எண்வரை அணுக்கள் கண் டறியப்பெற்றுள்ளன.

ரதர்ஃபோர்டு அணுவின் மாதிரி உருவக் கட்புல விளக்கத்தை அதன் தோற்ற மதிப்பிலிருந்து எந்த அளவுக்கு ஏற்றுக் கொள்ளலாம் என்ற பிரச்சினை மீண்டும் எழுகின்றது. என்றாவது ஒரு நாள் மிக உயர்ந்த நுண் பெருக்கியின் (Super-microscope) துணைக் கொண்டு உட்கருவினைச் சுற்றி அயனப் பாதைகளில் (Orbits) எலக்ட்ரான்கள் சுற்றி வருவதை நம் கண்களினால் பார்க்கக் கூடும் என்று எதிர் பார்க்கலாமா? எலக்ட்ரான்கள் இவ்வாறு கொள்ளும் இயக்கங்களை நொடிப் படங்களாக (Snapshots) எடுக்கவேண்டும். நாம் இன்று பெற்றுள்ள அறிவினைப் பொறுத்தவரையில் ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் நொடிப்படம் நாம் விளக்கத்திற்காக எடுத்துக் காட்டிய படத்தைப் போலவே இருக்கும் என்பதைப் பற்றி நாம் முற்றிலும் ஐயப்படுவதற்கில்லை; அஃதாவது அப்படம் ஒரு மில்லிமீட்டரின் நூறு இலட்சத்தில் சில பகுதி அளவு தூரத்தில் இரண்டு மின்னூட்டப்புள்ளிகளாக இருக்கும். இதுதான் ரதர்ஃபோர்டின் அணுவின் மாதிரி உருவத்தைப்பற்றிய நடைமுறை உட்கருத்தாகும். நம்முடைய ஒளிப்படங்கள் கட்புலனாகும் ஒளிக்கதிர்களைக் கொண்டு எடுக்கப் பெறுமல் அவை எலக்ட்ரான் கதிர்களைக் கொண்டே எடுக்கப்பெறுவதால் இப்படங்கள் திட்டமான வண்ணங்களில் அமையா என்பது வெளிப்படை. ஆயினும், அந்த ஹைட்ரஜன் அணுவின் நொடிப்படம் உட்கரு, ஒற்றை எலக்ட்ரான் ஆகிய இரண்டு துகள்களையும் நிச்சயமாகக் காட்டும்.

ஒளிப்படம் எடுப்பதில் சங்கடம்:

ஆனல், நம்முடைய எலக்ட்ரான் நுண் பெருக்கியை ஏதாவது ஒருவித அசையும் ஒளிப்படக் கருவியாகச் (Moving picture camera) செய்யக் கூடுமானல், அணுக்கருவினைச் சுற்றி அயனப் பாதையில் இயங்கும் எலக்ட்ரானைத் தொடர்ந்து செல்லவும் அதன் அயனப் பாதையை அறுதியிடவும் சாத்தியமாகுமா? இங்கு நாம் அணுவின் மாதிரி உருவத்தைக்

கொண்டு கட்புலனாகும் எல்லைகளை அடைந்து விட்டோம் என்ற அடிப்படைச் சங்கடம் ஒன்றனைக்காண்கின்றோம். ஏனெனில், நாம் நம்முடைய ஃபிலிமைக்கொண்டு முதற் படத்தை எடுத்ததும், நாம் அதே அணுவின் இரண்டாவது படத்தை எடுக்கும் நிலையில் இருப்பதில்லை. இதற்குக் காரணம் என்ன? அதை நாம் மீண்டும் நிலைகுலையாத நிலையில் இருப்பதைக் காண்பதில்லை. முதற்படம் எடுப்பதற்கு நமக்குத் துணையாக இருந்த அதே எலக்ட்ரான்களாலேயே அணு உருக்குலைந்து விட்டது. முதல் ஒளிப்படத்தை எடுப்பதற்குப் பயன்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் முதல் தாக்குதல் அவ்வணுவின் எலக்ட்ரானை அதன் உள் அணுப் பிணைப்பிலிருந்து (Intra-atomic bond) கிழித்தெறிந்து விட்டது; ஆகவே, இரண்டாவது படத்தில் காணப்பெறும் அணு எக்காரணங்களாலும் மாறாத அதே அணுவாக இருத்தல் முடியாது. எனினும், அணுக்கருவிற்குப் புறத்தே மிகத் தொலைவில் நாம் எலக்ட்ரானைக் காண்போம்.

எனவே, அணுவினுள் எலக்ட்ரானின் அயனப் பாதையைக் காண்பது இயலாததொன்று என்பது தெளிவாகின்றது. ஆனால் இயற்கை விதிகளின்படி சிறந்த முறையிலமைந்த நுண்பெருக்கியில் இவ்வாறு இயலாமல் இருப்பது அதன் எந்தக் குறைபாட்டினாலும் அன்று; ஆனால் இயற்கை விதிகளின் விளைவாகவே அங்ஙனம் முடியாது போகின்றது. இந்த இயற்கை விதிகளைக் கொண்டு எலக்ட்ரான்களைத் தம்அயனப் பாதையில் மிக அதிகமான மின் அழுத்த விசையில் வேகமாக செலுத்தப்பெறும் எலக்ட்ரான் நுண்பெருக்கியைப்போன்ற தீவிரமான முறைகள்தாம் மிகத் தெளிவான சிறந்த அணுவின் படத்தை அடையும் முறைகளாகும். இஃது இயற்கை விதிகளையொத்தும் அமைகின்றது.

இந்தக் கட்டத்தில், நாம் கட்புலனாகும் எல்லைகளை அடைந்து விட்டதாகவும், அணுக்கருவினைச் சுற்றி இயங்கும் எலக்ட்ரான்களைப்பற்றிய கருத்தினை, முக்கோண வடிவத்தில் அமைந்த நீரின் மூலக் கூறு இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களையும் ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவினையும் கொண்டது என்ற

கருத்தினைப்போல் அப்படியே ஏற்றுக் கொள்ளக் முடியா தெனவும் கண்டறிவதால் அது சிறிதும் நம்மைத் திகைக்கும் படி செய்யாது.

கட்புல விளக்கம்

கட்புலனுவதற்கு விளக்கம் தருவதில் கூறப்பெற்ற கட்டுப்பாடுகளை 'குவாண்டம் கொள்கை' (Quantum theory)யின் அடிப்படையிலமைந்த நிச்சயமின்மை தத்துவம் (Uncertainty principle) என்ற உறவு முறையினைத் துணைக்கொண்டு மிகத் திட்டமான வாய்பாடாக அமைத்தல் கூடும். அதனை அடியிற்கண்டவாறு மிக எளிய முறையில் கூறலாம்: எவரும் ஒரே சமயத்தில் மிகத் திருத்தமான முறையில் மிகச்சிறிதாகவுள்ள துகள்களில் ஒன்றன் இயக்கத்தை அறுதியிடக்கூடிய இரண்டு முக்கியமான கூறுகளைத்—அஃதாவது துகளின் இருப்பிடம், அதன் நேர் வேகம்—தெரிந்து கொள்ள முடியாது. ஒரே கணத்தில் ஒரு துகளின் இருப்பிடத்தையும் அது செல்லும் திசையையும் வேகத்தையும் மிகத் திருத்தமான முறையில் அறுதியிடுவதென்பது மிகவும் இயலாத தொன்று. ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அதன் சரியான இருப்பிடத்தைச் சோதனை மூலம் நாம் அறுதியிட்டால், அதே சோதனையால் அதன் இருப்பிடம் மிகவும் நிலைகுலைந்து அதனைக் காணமுடியாத நிலை ஏற்பட்டு விடுகின்றது. இதற்கு மாறாக ஒரு துகளின் நேர்வேகத்தை மிகத் திட்டமான முறையில் அளக்கும் பொழுது, அத்துகளின் இருப்பிடத்தின் படம் முற்றிலும் மங்கலாகி விடுகின்றது.

ஆயினும், இந்தக் கூற்றினால் ஒரு வளர்ச்சியின் உச்சநிலையினை எதிர்பார்த்தேன்; இப்பொழுது ஆதி நிலையிலிருந்தே அதனை விவரிக்க முற்படுகின்றேன்.

அணுவின் மாதிரி உருவத்தின் சில பண்புகள்:

கட்புலனாகும் படத்தில் நேரிடக்கூடிய சங்கடங்களைத் தவிர, அணுவின் மாதிரி உருவம் சில பண்புகளைப் பெற்றுள்ளன; அப்பண்புகள் நடைமுறை அனுபவத்துடன் பொருந்து

வதாகத் தெரியவில்லை. ஏனெனில், நம்முடைய முன்னறிவின்படி, அணுவின் உட்கருவினைச் சுழன்று கொண்டுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு வட்ட வடிவமுள்ள அயனப்பாதையிலோ அல்லது ஒரு நீள் வட்ட வடிவமுள்ள (Elliptical) அயனப்பாதையிலோ நீண்ட நேரம் சுழன்று கொண்டிருத்தல் முடியாது. முதலாவதாக, எலக்ட்ரான் மின்ஏற்றத்தைக் கொண்டுள்ளது; இரண்டாவதாக, அஃது அணுக்கருவினைச் சுற்றியுள்ள அயனப்பாதையில் அதிர்ந்து கொண்டுமுள்ளது. வானொலி வான்கம்பியிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் அதிர்வுகள் ஒரு மின் அலையை உண்டாக்குவது போலவே, அணுவில் அதிர்ந்து கொண்டிருக்கும் எலக்ட்ரானும் கதிர்வீச்சு அலையை வெளியிட வேண்டும். இதில் அந்த அலையை நாம் ஊதா-மேற்கதிர் ஒளியாக (Ultraviolet light) காணல் வேண்டும். ஆனால், இது கோள்நிலைஎலக்ட்ரானால் (Planetary electron) வெளியிடப்பட்ட ஆற்றலாக இருக்க வேண்டும்; இதன் விளைவாக சில காலம் கழிந்த பின்னர் அந்த எலக்ட்ரான் அணுக்கருவில் வீழ்ந்து அமைதி நிலையை அடைந்து விடும். எலக்ட்ரான்கள் அயனப்பாதைகளில் நிலைகுலையாமல் சுற்றிக்கொண்டுள்ள அணுவின் மாதிரி உருவம் உணர்த்தும் கருத்தின் போக்கிற்கு இப்படம் முற்றிலும் வேறாக உள்ளது. ஆயினும், ஏதாவதொரு வழியில் கதிர்வீச்சுப் பிரச்சினையை நீக்கிக் கொள்ள இயலுமெனினும், ரதர்ஃபோர்டு அணுவின் மாதிரி உருவம் அணுவின் வேதியியற் பண்புகளின் நிலைப்பையும் திட்டமான தன்மையையும் முற்றிலும் விளக்கத் தவறுகின்றது.

நீல்ஸ் போரின் கருத்து:

அணுவின் நிலைப்பை (Stability) ரதர்ஃபோர்டு அணுவின் மாதிரி உருவத்துடன் இணைக்கும் பிரச்சினைக்கு **1913**-இல் நீல்ஸ் போர்[20] என்பார் தீர்வு கண்டார். போரின்

20 நீல்ஸ் போர்-Niels Bohr.

கருத்துப் போக்குகள் மாக்ஸ் பிளாங்[21]கின் ஒரு கொள்கையின் அடிப்படையில்அமைந்தன. 1900-இல் பிளாங்க் தன்னுடைய கதிர்வீச்சு விதியை—முதலில் முற்றுமுற்று நிலையில் (Empirically)—அறுதியிட்டுக் கூறினார்; இவ்விதி அனுபவத்தை யொட்டி கருநிறப் பொருளின் வெப்பக் கதிர்வீச்சுக்கு விளக்கம் தந்தது[22]. இந்த விதிக்கு ஒரு பௌதிக விளக்கம் தருவதற்கு, பின்னால் மேற்கொள்ளப்பெற்ற முயற்சியில், பிளாங்க் இயற்கைச் செய்முறைகளில் மிகவும் நூதனமான ஒரு தொடர்பற்ற நிலையைக் கண்ணுற்றார். தன்னுடைய கதிர் வீச்சு விதியினை முற்றிலும் இந்த வியப்பான கருதுகோளின் (Hypothesis) அடிப்படையிலேயே நிலைநிறுத்த முடியும் என் பதையும் அவர் கண்டார்; மிகச் சிறிய, கதிர்வீச்சுத் தன்மை யுள்ள துகள்களாகிய அணுக்கள் தமது அதிர்வுகளின் எல்லா ஆற்றல் அளவுகளையும் தொடர்ச்சியாக மேற்கொள்ள இயலாவென்பதுவும் (இதுகாறும் நாம் பெற்றுள்ள முன்னறி வின்படி,அவைபெற்றுள்ளன என்றுதான் நாம் எண்ணுவது), ஆனால் ஒரு வரிசைக் கிரமமாகச் சில திட்டமான குறிப்பான ஆற்றல் அளவுகளைப் பெற்றுள்ளன என்பதுவும்தான் அந்தக் கருதுகோள் ஆகும். அன்றியும், வெளியிடப்பெற்ற கதிர் வீச்சில் இந்தத் தொடர்பற்ற பண்பு இருந்தது என்றும், அது காறும் அலைத்தத்துவம் என்று கருதப்பெற்ற ஒளி என்பது தனிப்பட்ட ஆற்றல் குவாண்டங்களைக் கொண்டிருத்தல் வேண்டும் என்றும் கருதப்பெற்றன; பின்னால் மேற் கொள்ளப்பெற்ற சோதனைகளும் இவற்றை உறுதிப் படுத்தின. அலைவெண்ணைக் கொண்ட ஒளி தனிப்பட்ட குவாண்டங்கள் அளவு ஆற்றலை வெளியிடுகின்றது, அல்லது உட்கொள்ளுகின்றது என்றும், இந்த ஆற்றலின் அளவு

---

21 மாக்ஸ் பிளாங்க்-Max Planck.

22 'கருநிறப் பொருள்' தன்மீது படும் கதிர்வீச்சினை விழுங்கி அதன் விளைவாக—கிர்க்காப் (Kirchhoff) என்பார் அறுதியிட்டுக் கூறிய ஒரு விதிப்படி—மிக ஆற்றல் வாய்ந்த கதிர்வீச்சினை வெளிப்படுத்தும்.

அலைவெண்ணுடன் விகிதப் பொருத்தத்தில் அமைந்துள்ளது[23] என்றும் உணர்ந்தார் பிளாங்க்; இந்த ஆற்றலின் அளவு hv-க்குச் சமமாக இருந்தது என்றும் ஒப்புக்கோளாக (Postulate) வெளியிட்டார். h என்ற இந்த மாறிலி 'பிளாங்கின் மாறிலி' (அட்டவணை-Iஐப் பார்க்க) என்று வழங்கப் பெறுகின்றது; இந்த மாறிலி பல ஆண்டுகளாகப் பௌதிகத் துறையின் வளர்ச்சி முழுவதற்கும் அடிப்படைக்கருத்தாகவும் இருந்து வருகின்றது.

அதிசயமான நிலை:

ஒளியின் ஆற்றல் குவாண்டங்களே என்ற இந்தக் கொள்கையின் விளைவாக மிகவும் அதிசயமான நிலை எழுந்துள்ளது. ஒரு முறையில் சில ஒளிபற்றிய நிகழ்ச்சிகளின்படி—எ-டு. எதிர்த்தழித்தல் அல்லது தலையீடுபற்றியவை (Interference)—ஒளியை அலைத்தத்துவமாகக் கொண்டால்தான் தெளிவாகப் புலனாகும் என்பது நன்றாக உணரப்பெற்றுள்ளது. மற்றொரு முறையில், ஒளி குவாண்டங்கள்பற்றிய பொதுமைக் கருத்து வேறு நிகழ்ச்சிகளை விளக்குவதற்கு மிகவும் தேவைப்படுகின்றது. ஆனால், அது வெளிப்பரப்பில் நேர்க்கோடுகளில் செல்லும் துகள்களின் திரள்களாலானது. ஆகவே, முற்றிலும் வேறுபட்ட, அடிப்படையில் முரணான, ஒளிபற்றிய இரண்டு கொள்கைகளையும் ஏற்றுக் கொள்ள வேண்டியுள்ளது என்று அறிகின்றோம். எனவே, நாம் 'அலை-துகள் இருமை' (Wāve particle polarity) அஃதாவது, ஒளியின் அலைக்கூறு, ஒளியின் துகள்கூறு என்ற இரண்டு கூறுகளைப்பற்றி அறிகின்றோம்.

---

23 E=hv என்பது பிளாங்க் அமைத்த வாய்பாடு. இந்தப் பேருண்மையைக் கண்ட அறிவியல் பெரியார் செருமானிய நாட்டில் தோன்றி, ஐன்ஸ்டைனை வெருட்டி ஓட்டிய நாசி (Nazi) கூட்டத்தோடு சேர்ந்து சிறைப்பட்டு உயிர் துறந்தார்.

போர் என்பார் மேற்கூறப்பெற்ற அணு நிகழ்ச்சியில் ஒரு தொடர்பற்ற நிலையின் கருதுகோளில் தொடங்கி சில குறிப்பிட்ட நிலையில் மட்டிலும் ஒரு கணிசமான கால அளவிற்கு அணுக்கள் நிலைப்பைப் பெற்றுள்ளன என்றும், குறிப்பிட்ட ஆற்றலைக் கொண்ட கோள்நிலை எலக்ட்ரான்களின் அயனப் பாதைகளைக் கொண்டுள்ளன என்றும், நிலைப்பு நிலையில் இருக்கும்பொழுது அவை கதிர்வீச்சினை வெளியிடுவதில்லை என்றும் ஒரு கொள்கையினை வெளியிட்டார். இக்கொள்கை அணுக்களின் நிலைப்புத் தன்மையை விளக்கியது; ஆனால் அணு அமைப்பினைப்பற்றிய இயற்கை விதிகளை அறிவதற்கு முன்னர் இன்னும் நெடுந்தொலைவு செல்ல வேண்டியிருந்தது.

பிராக்லியன் விளக்கம்:

போர் கொள்கை நிலவி வந்த முதற் பத்தாண்டு காலத்தில் தனிமங்களின் வேதியியற் பண்புகளுக்குக் குவாண்டம் கொள்கையின் மூலம் இறுதியாக விளக்கம் தரப்பெற்றது. இத்துறையில் ஃபிரெஞ்சு நாட்டு அறிஞர் லூயி டி பிராக்லி[24] என்பாரால் மேலும் ஒரு முக்கிய படி வெற்றிகரமாக மேற்கொள்ளப்பெற்றது; 1924-இல் இவர் சில சமயம் ஒளிக்கு அலைக்கூறினையும் சில சமயம் துகள்-திரள் கூறினையும் தரும் விநோதமான இருமை சிறப்பியல்பு ஒளிக்கேயன்றி சடப்பொருளுக்கும் அமைந்துள்ளது என்பதை உணர்ந்தார். இக்கண்டுபிடிப்பு இறுதியாக 'அலை அல்லது குவாண்டம் பொறிநுட்பயியல்' (Wave or quantum mechanics) என்ற புதிய துறை அமைப்பதில் கொண்டுசெலுத்தியது; இஃது ஒரு வகையில் அணுக்கருவின் புற அமைப்புபற்றிய கொள்கையை நிறைவு பெறுமாறும் செய்தது.

சடப் பொருளின் இருமைபற்றிய விளக்கம்:

இனி, நாம் இரண்டு ஒளிப்படங்களைக் (Photographs) கொண்டு இந்தச் 'சடப் பொருளின் இருமை' யை விளக்க

24 லூயி டி பிராக்லி-Louis de Broglie.

முயலுவோம். முதலில், படம்-3இல் ஆல்பாத் துகள்களின் சுவடுகளை மீண்டும் ஒரு முறை உற்று நோக்குவோம்; இதில் அவற்றின் துகள் தன்மை மிகத் தெளிவாகப் புலனாகின்றது இந்தச் சுவடுகளை ஆராய்ந்த பிறகு, மிகச் சிறிய துகள்கள் உண்மையில் வெளிப் பரப்பின் ஊடே பரந்து சென்று இங்கு ஏதோ ஓரிடத்தில் ஒதுக்கம் பெறுகின்றன என்பதில் எவரும் சிறிதேனும் ஐயங் கொள்ள இயலாது.

இரண்டாவதாக, சோதனைகள்பற்றிய சான்றும் உள்ளது; சோதனைகள் அதே அளவு உறுதிப்பாட்டுடன், ஆல்பாக் கதிர்கள் என்பவை துகள்கள் அல்ல வென்றும், ஆனால் அவை கதிர் வீச்சு மூலத்திலிருந்து பரந்து வரும் அலைகள் என்றும் உணர்த்துகின்றன. இதனை ஆல்பாக் கதிர்களைக் கொண்டு செய்து காட்டல் (Demonstrate) முடியாது; ஆனால் பீட்டாக் கதிர்களைக் கொண்டு செய்துக்காட்ட முடியும்; இக் கதிர்களின் துகள் தன்மை ஆல்பாக் கதிர்களினுடையவற்றை விட உள்ளத்திற் கண்டுணரதக்கவாறு எண்ணற்ற சோதனைகளால் மெய்ப்பிக்கப்பெற்றுள்ளது. சடப்பொருளின் மெல்லிய அடுக்குகளினூடே பீட்டாக் கதிர்களை ஊடுருவிச் செல்லச் செய்தால், அதே நிலையில் எக்ஸ் கதிர்களிடம் நாம் காணுவது போன்ற அதே வித எதிர்த்தழித்தல் (Interference) நிகழ்ச்சியையே அவை காட்டுகின்றன; எக்ஸ் கதிர்கள் அலைக் கதிர்வீச்சாக உள்ளன என்பதை நாம் பழக்கத்தில் உணர்ந்துள்ளோம். சடப்பொருளின் அடுக்கினைக் கதிர்கள் துளைத்துச் செல்வதால் நடுக் கதிர் ஒன்றும் அதனைச்சுற்றி ஒதுக்கப்பெற்ற அலைகள் ஒன்றன்மீது ஒன்றாகப் பதிந்ததால் உண்டான வளையங்களால் சூழப்பெற்றுள்ளது என்பதுவே எதிர்த்தழித்தல் என்ற நிகழ்ச்சியாகும். இவற்றை ஒப்பிடுவதற்கு இரண்டு ஒளிப்படங்கள் காட்டப்பெறுகின்றன; ஒன்று (படம்-5) எக்ஸ்-கதிர்களால் எடுக்கப்பெற்றது; மற்றொன்று (படம்-6) பீட்டாக் கதிர்களால் எடுக்கப்பெற்றது. பின்னதாகக் குறிப்பிட்ட படம் இதுகாறும் எடுக்கப்பெற்ற இவ்வகை ஒளிப் படங்களில் முதன் முதலாக எடுக்கப்பெற்ற தொன்றாகும். ஆனால், அவற்றின் தெளிவுத் தன்மையில்

காணப்பெறும் வேற்றுமையைத் தவிர, இந்த இரண்டு ஒளிப் படங்களையும் வேறுபடுத்தி அறிய இயலாது.

எலக்ட்ரானின் வியத்தகு இருமைப் பண்பைப்பற்றி எவ் விதமான ஐயத்தையும் கொள்ள இயலாது என்பதை நாம் காண்கின்றோம். ஒரு வகையில், எலக்ட்ரான்கள் துகள்களே என்று நியாயமாகவே கருதப்பெறலாம்; ஓர் அணுவின் நொடிப்படம் படம்-1-இல் காட்டப்பெற்றுள்ளதைப் போலவே இருக்கும் என்றும் உறுதியாக நம்பலாம். ஆனால் மற்றொரு வகையில், அவைகள் அலைகள் போலவும் காணப் பெறுகின்றன; அணுவின் படத்தை எடுப்பதற்கு இந்த அலை இயல்பையும் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். ஆயினும், இதில் இப்படம் பெரும்பான்மையான கூறுகளில் வேறுபட்ட தாகவே இருக்கும்.

இரண்டு கூறுகளும் ஒன்றுக்கொன்று அடிப்படை:

நவீன பௌதிகத்துறை அலைக் கூறு, துகள் கூறு ஆகிய இரண்டையுமே பயன்படுத்திக்கொண்டு இரண்டையும் சம உரிமையுடன் கையாளுகின்றது. ஏனெனில், இரண்டையும் எவ்வெப்பொழுது பயன்படுத்த வேண்டும் என்பதை நாம் அறிவோம்; அன்றியும், ஒன்றில்லாமல் மற்றொன்று நிலை பெற்றிருக்கமுடியாது என்பதும் நமக்குத் தெரியும்.

எனவே, அணுவைப்பற்றிய கட்புல உணர்வை அடை வது மிகக் கடினம் என்பதைக் காண்கின்றோம்; இக்கட்டத் தில் நாம் கட்புலனுவதற்கு சாத்தியப்படக் கூடிய எல்லையை அடைந்து விட்டோம் என்பது தெளிவு. ஏற்கெனவே நாம் கண்டது போல, நாம் ஓர் அணுவைப்பற்றி உற்று நோக்கக் கூடியதெல்லாம் ஓர் ஒற்றை நொடிப் படத்தின் விளைவாக நேர்ந்ததே. ஆனால், அத்தகைய நொடிப்படம் எலக்ட்ரா னின் அயனப் பாதையை ஒருபொழுதும் காட்டுவதில்லை; ஆனால், அஃது அணுக்கருவையும் ஒரு குறிப்பிட்ட தருணத் தில் எலக்ட்ரானின் இருப்பிடத்தையும் காட்டுகின்றது. ஒரே இனத்தைச் சேர்ந்த வெவ்வேறு அணுக்களின் ஒளிப்படங்கள்

ஒன்றன்பின் ஒன்ருகத் தொடர்ந்தாற்போல் பேரெண்ணிக்கையில் எடுக்கப்பெற்ருல், அணுக்கருவிலிருந்து அதிக தூரம் அல்லது குறைந்த தூரத்தில் எலக்ட்ரான் பல்வேறு இடங்களில் காணப்பெறும்; அஃது ஓரிடத்தில் அதிகமாகவும் பிறிதோரிடத்தில் மிகக் குறைவாகவும் காணப்பெறும். இவ்வாறு அணுக்கருவின் அருகில் எலக்ட்ரானை ஏதாவது ஓரிடத்தில் அல்லது மற்ருேரிடத்தில் காணக்கூடிய பொதுவான ஒரு முழுப் படத்தை அடையலாம்; எலக்ட்ரான்கள் வினியோகிக்கப் பெற்றிருக்கும் இதனை 'ஏற்பு மதிப்பு' (Probability value) என்று வழங்குவர். ஆனல், தொகுதியாக அமைத்த இந்த ஒளிப்படப் பதிவுகள் யாவும்—ஒரே கணத்தில் சேகரஞ் செய்யப்பெற்றதால்—அணுக்கருவின் அருகில் மின்சாரச் செறிவின் சராசரி வினியோகத்தைக் காட்டும் படம் என்றும் இவை கருதப்பெறலாம். இத்தகைய செறிவு வினியோகம் ஒரு விதத்தில் அலை நிகழ்ச்சியுடன், அஃதாவது ஓர் அலையுடன், ஒப்பிட்டுப் பார்க்கக் கூடியதாகும். எதிர்மின் ஏற்றம் பெற்ற சடப்பொருளின் நிலையான அலைகளைக் கற்பித்துக் கொண்டால், இவையும் இந்தச் சடப் பொருளின் ஒரு குறிப்பிட்ட செறிவு வினியோகத்துடன் பொருந்துவதாக இருக்கும். உண்மையில் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலுள்ள அலைகளின் வீச்சின் (Amplitude) மடக்கெண் (வாக்கம்) அந்த இடத்திலுள்ள பொருளின் செறிவினை உணர்த்துகின்றது என்று 'டிபிராக்லியின் சடப் பொருள் அலைகளை' விளக்கி வைக்கலாம். ஆனல், கணப்பொழுதில் எடுத்த நொடிப்படம் ஒன்றில் எலக்ட்ரான் அதே இடத்தில் கண்டறியப்பெறும் என்ற நிலையையும் அஃது உணர்த்துகின்றது என்றும் நாம் கூறலாம். அணுக்கருவின் மிக அருகிலுள்ள இந்த நிலையான அலைகள் ஷ்ரோடிங்கர்[25] என்ற அறிஞரால் ஆராயப்பெற்றன; உண்மையில், அவை அவருடைய அலைப் பொறிநுட்பவியலின் நோக்கத்தினைக் குறிப்பிடுகின்றன. அன்றியும். இந்த நிலையான அலைகள் அணுக்கருவின் அருகிலுள்ள மின்சாரத்தின்

---

25 ஷ்ரோடிங்கர்-Schrodinger.

நிலையான வினியோகத்தைச் சரிபார்க்கவும் அடிப்படையாக அமைகின்றன; ஆகவே, கதிர்வீச்சே இல்லாத அணுவின் நிலையான நிலைகளின் இருப்பு இன்னதென்பதை நாம் புரிந்து கொள்ள முடிகின்றது. ஆகவே, அணுவின் மாதிரி உருவத்தைபற்றிய சங்கடங்களில் ஒன்று நீக்கப்பெறுகின்றது.

அணுவிலுள்ள நிலையான அலைகள்:

ஓர் அணுவில் இருக்கக்கூடிய தனிப்பட்ட நிலையான அலைகள் ஓர் இசைக் கருவியின் நரம்புகளில் உண்டாகும் தனிப்பட்ட பண்புள்ள அதிர்வுகளைப்போல் ஒரு தொடர்பான வரிசைகளில் அமைவதில்லை. ஒரு நரம்பு அதன் அடிப்படைத் தொனியில் அதிர்வடைதல் கூடும்; அப்பொழுது அதற்கு அதிர்வில்-இடங்கள் (Nodes) இல்லை. ஆயினும் மற்றொரு வகையில் அது மிகுசுரங்களிலும் (Overtones) அதிர்வடைதல் கூடும்; அப்பொழுது அஃது ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அதிர்வில்-இடங்களைப் பெற்றிருக்கும். இவ்வாறே, ஓர் அணு தன் கீழ்நிலையில் (Ground state) அதிர்வடைதல் கூடும்; அப்பொழுது அதற்கு 'அதிர்வில்-இடங்கள்' இல்லை. அஃதாவது, சடப்பொருளின் செறிவு மறையக்கூடிய நிலைகளே அதற்கு இல்லை. ஆனால், அது மிகுசுரத்தில்கூட அதிர்வடைதல்கூடும்;—அது 'கிளர்ந்தெழும்' அதிர்வடைதல் ('Excitcd' vibration) என வழக்கப்பெறும்—அப்பொழுது பல்வேறு செறிமானமற்ற நிலைகள் உள்ளன. இந்தப் பல்வேறு நிலையான அதிர்வுகள் ஓர் அணு மேற்கொள்ளக்கூடிய பல்வேறு அமைதியான நிலைகளை ஒத்துள்ளன.

விளக்கம்:

இனி, நாம் மேற்குறிப்பிட்ட வரையறைகளை மிக எளிய அணுவாகிய ஹைட்ரஜன் அணுவினை எடுத்துக்காட்டாகக் கொண்டு சில படங்களின் துணையினால் விளக்க முற்படுவோம். ஹைட்ரஜன் அணுவின் கீழ்நிலை (Is என்ற குறியீட்டினால் காட்டப்பெற்றிருப்பது) 1913-இல் போர் என்பாரால்

அணுக்கருவினைச் சுற்றி வரும் எலக்ட்ரானின் வட்ட அயனப் பாதையாக (படம்-4) விவரிக்கப்பெற்றது. துகள் கூறினைப் பொறுத்தமட்டிலும் இஃது ஒரு தெளிவான படமே. இந்தக் கருத்துப்படி, அணுக்கருவினையொட்டி எலக்ட்ரான் ஒரு தற் சுழற்சித் திருப்புதிறனைப் (Spin moment) பெற்றுள்ளது. இன்று நாம் உண்மையில் அத்தகையது ஒன்று இல்லை என அறிகின்றோம். ஆகவே, இன்று நாம்— துகள் கூறு என்பதன் அடிப்படையிலேயே—எலக்ட்ரான் அணுக்கருவினையொட்டி ஒரு நேர்க்கோட்டில் முன்னும் பின்னுமாக இயங்கிக்கொண்டுள்ளது என்றுகூடச் சொல்லுகின்றோம் ஆகவே, படம்-7 (a)-இல் காட்டியுள்ளபடி நாம் அணுக்களைக் கற்பனை செய்து பார்க்கின்றோம்.

ஆனால், மற்றொரு வகையில், ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள மின்னியற் பொருளின் நிலையை அலைக்கூறு என்றுகூடக் கருதலாம் (படம்-7 (b)). நாம் அணுவின் கீழ்நிலையில் (Ground state) ஆயிரக்கணக்கான நொடிப்படங்களை எடுத்து அவற்றை ஒன்றன்மேல் ஒன்றாகப் பொருந்தும்படி செய்தால், நாம் படம்-7 (b)-இல் காட்டியுள்ளபடி ஒரு செறிவு வினியோகத்தை அல்லது ஏற்பு வினியோகத்தை அடைவோம். அது ஷ்ரோடிங்கரின் அலைநுட்பவியலின்மூலம் கணக்கிடப் பெறுகின்றது.

ஆனால், வெளியிலிருக்கும் ஓர் எலக்ட்ரானின் தாக்குதலின் விளைவாக ஓர் அணு 'மிகு சுரங்களுக்கும்' கிளர்ந்த நிலைக்கும் செல்லுதல்கூடும். இத்தகைய கிளர்ந்த நிலையில் அணு, கதிர்வீச்சினைப் பெறுகின்றது; அஃதாவது ஒளியின் ஃபோட்டானை (ஒளியாற்றலின் குவாண்டம்) வெளிவிடுகின்றது. இது நிகழ்வதற்குக் காரணம் யாதெனில், அணு கிளர்ந்த நிலையிலிருந்து கீழ் நிலையை அடைகின்றது; அல்லது குறைந்த ஆற்றலைக் கொண்ட மற்றொரு கிளர்ந்த நிலையை அடைகின்றது. படங்கள் 7 (a)-யும் 7 (b)-யும் அத்தகைய நிலைகளைக் காட்டுகின்றன; அவை 2p, 2s என்ற குறியீடுகளால் காட்டப்பெற்றுள்ளன. சடப் பொருளின் அலைக்

கூறில் கீழ் நிலையின் மிக அண்மையிலுள்ள கிளர்ந்த நிலை அதிர்வில்-இட தளத்துடன் (Nodal plane) கூடிய அமைதி யான அலையால் காட்டப்பெற்றுள்ளது; இந்தத் தளம் நமது ஓவிய தளத்திற்குச் செங்குத்தாக அமைந்துள்ளது. ஆனால், இந்தச் செறிவு வினியோகம், நம்முடைய கட்புல உணர்வுக் குத் துணையாக இருக்கக்கூடிய ஒரு மாதிரிக் கோலந்தான்; இஃது ஆயிரக்கணக்கான நொடிப்படங்களின் துணையால்-தான் புலனீடான உட்கருத்தினை எய்துகின்றது. இதே அமைதி நிலைகளை நாம் துகள் கூறின் அடிப்படையில் விளக்க விரும்பினால், போரின் அசல் கொள்கையிலுள்ளதுபோலவே நாம் வட்ட வடிவ அயனப்பாதையை அடைகின்றோம்; ஆனால், இந்த அயனப்பாதை வெளிப்பரப்பில் பல்வேறு நிலை களை மேற்கொள்ளுதல்கூடும்; ஒன்றன்மீது ஒன்றாக அமைக்கப் பெறும் இந்த நிலைகளும் ஓர் ஏற்பு வினியோகத்தில் அல்லது ஒரு செறிவு வினியோகத்தில் முடிவடைகின்றன; இதில் அலைக் கூறில் உள்ள அதே அதிர்வில்-இடதளம் காணப்பெறு கின்றது.

அதிக ஆற்றலுள்ள கிளர்ந்த நிலைகளில் (2s), நடுவில் உயர்ந்த அளவு செறிவு உண்டாகின்றது; இது வெளிப்புறத் தில் ஓரளவு செறிவற்ற வளையத்தையும் கொண்டதாகவுள் ளது. இம்மாதிரியான நிலைகளில், வளையத்தின் அருகில் எலக்ட்ரான் திடீரென்று தாக்கப்பெறுதல் கூடும்.

இவ்விடத்தில் மேலும் பல விவரங்களை நாம் ஆராயப் போவதில்லை. ஓரளவு அணுவின் அமைப்பை விளக்குவதற் குப் பௌதிக இயலில் மேற்கொள்ளப்பெறும் பல்வேறு பொதுமைக் கருத்துக்களைப்பற்றிச் சிறிதளவு விளக்கவேண்டு மென்பதுதான் எனது ஒரே நோக்கம். அணு அமைப்பின் ஒவ்வொரு சிறப்பியல்பையும் ஒரேகாலத்தில் அடக்கிக் கொண்டு கட்புலனாகக்கூடிய விளக்கத்தை ஏன் தர முடிய வில்லை என்பதற்குரிய காரணம் ஏற்கெனவே ஆராயப் பெற் றுள்ளது.

(iii) தனிமங்களின் ஆவர்த்த அமைப்பு

அணு-எண்வரிசையில் தனிமங்களின் அமைப்பு:

இனி, நாம் தனிமங்களின் வேதியியற் பண்புகளுக்கும் அணுக்களின் உட்கருவின் புறத்தேயுள்ள பகுதிகளின் அமைப்புக்கும்—அஃதாவது கோள்நிலை எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கும்—உள்ள தொடர்புமுறைபற்றிய பிரச்சினைக்கு வருகின்றோம்; இதிலிருந்து இறுதியாக அணுக்களின் மின்னூட்டங்களைப்பற்றியும் அறிந்து கொள்ளப் போகின்றோம். இந்த உறவுமுறையைப் புரிந்து கொள்வதில் நாம் போரின் கொள்கைக்கு மிகவும் கடமைப்பட்டுள்ளோம்; தனிமங்களை அவற்றின் அணுக்கரு மின்னூட்டங்களின் அளவுக்கேற்றவாறு, அஃதாவது அவற்றின் அணு-எண்களுக்கேற்றவாறு, முறையாக அமைத்துக்கொண்டு இந்த உறவு முறை பற்றிய பொதுவான கருத்தைத் திருப்தியான முறையில் அடையலாம்; இந்த அணு-எண்கள் முறையே அத்தனிமங்களின் அணுக்கருக்களில் உள்ள நேர் மின்சாரத்தின் அடிப்படைக் குவாண்ட எண்களுடன் முழுதும் ஒத்துள்ளன (இந்நூலின் இறுதியிலுள்ள அட்டவணை-IIஐப் பார்க்க). எனவே, நாம் ஹைட்ரஜனில் (1) தொடங்கி, ஹீலியத்தைத் (2) தொடர்ந்து, யூரியத்தை (96) அடையும்வரை இவ்வாறு செல்லுகின்றோம்.* தனிமங்களை அணு-எண்களின் வரிசை முறைப்படி அமைத்தால், அவற்றின் வேதியியற் பண்புகள் திரும்பத்திரும்ப வரும் முறையில் (Repeat) அமைகின்றன என்ற உண்மையைச் சற்றேறக்குறைய நூறுண்டுகளாக வேதியியற் புலவர்கள் அறிந்திருந்தனர். இவ்வாறு திரும்பத்திரும்பக் கூறும் முறை அமையும் இடங்களில் இந்த வரிசை முறையை விட்டுப் புதிய வரிசை முறையைத் தொடங்கினுல் நாம் எல்லோரும் அறிந்த,

---

* இன்று நொபீலியம் (103) வரையிலும் மேலும் ஏழு தனிமங்கள் கண்டறியப்பெற்றுள்ளன. அதற்கடுத்த தனிமம் (104) இன்னும் பெயரிடப்பெறவில்லை.

நியூலண்ட்ஸ்[26], மெண்டெலீப்[27], மேயர்[28] ஆகியோர் கண்ட 'தனிமங்களின் ஆவர்த்த அமைப்பை' அடைகின்றோம் (இந்நூலின் இறுதியிலுள்ள அட்டவணை-IIIஐப் பார்க்க). போர் கூறுகின்றபடி, அணுக்கொள்கையின் அடிப்படையில் தனிமங்களின் இந்த ஆவர்த்த முறையை அடியிற் கண்ட வாறு விளக்குதல் கூடும்:

எலக்ட்ரான்களின் அமைப்பு:

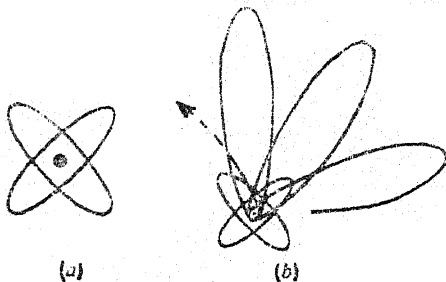
பாலி[29] என்பாரால் முறைப்படுத்தப்பெற்ற ஒரு விதிப் படி, ஓர் அயனப்பாதைல் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான் கள் ஒரே குவாண்டம் நிலையில் இருக்கமுடியாது. மெய்ப்பிப்பு இன்றி அவ்விதியை இங்கு எடுத்துக் கூறலாம். ஆகவே, ஓர் அணு பல எலக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருந்தால், முதல் எலக்ட் ரானுக்கு அடுத்துள்ள எலக்ட்ரான்கள் வெளிப்புறமாக அமைந்துள்ள பல அயனப்பாதைகளில் இடம்பெற்றிருக்கும். இத்தகைய பிரச்சினைகளை ஆராயுங்கால், முற்றுப்பெற்ற அணுவைக் கற்பனை செய்து பார்ப்பதைத் தவிர்க்கவேண்டும்; அதற்குப் பதிலாக அணுக்கருவிலிந்து வெளிப்புறமாக நோக் கிச் செல்லவேண்டும்; ஒரு குறிப்பிட்ட தனிமத்திற்குரிய எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை முற்றுப்பெறும் வரையிலும் நடு விடத்திலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக சேர்க்கப்பெறுகின்றன என்றும் கற்பனை செய்து கொள்ள வேண்டும்.

பல்வேறு 'கூடுகள்':

இந்த அமைப்பு விதிப்படி தனிப்பட்ட எலக்ட்ரான்களை ஒன்றன் பின் ஒன்றாகச் சேர்ப்பதைத் தொடர்ந்து நாம் மேற்கொண்டால், ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கை அளவு

---

26. நியூலண்ட்ஸ்-Newlands.
27. மெண்டெலீப்-Mendelejeff.
28. மேயர்-Mayer.
29. பாலி - Pauli.

எலக்ட்ரான்களைச் சேர்த்த பிறகு, இந்த எலக்ட்ரான்கள் முக்கியமாக ஒரு முற்றுப்பெற்ற அமைப்பாக மாறுகின்றன என்பதைக் காண்கின்றோம்; மீண்டும் எலக்ட்ரான்களைச் சேர்த்தால் அணுக்கருவிலிருந்து மிகத் தொலைவில் ஒரு புதிய அமைப்பு தொடங்குகின்றது என்பதையும் அறிகின்றோம். அணுக்கருவிற்குப் புறத்தேயுள்ள அணுவின் எலக்ட்ரான் அமைப்பு பல தனிப்பட்ட 'கூடுகள்' (Shells) அடங்கியுள்ள ஓர் அமைப்பு என்று சொல்லப்பெறுகின்றது. இவ்வாறு முற்றுப்பெற்ற ஒரு கூட்டுடன் கூடிய அணுக்கருவின் புற அமைப்பைக்கொண்ட வேதியியல் தனிமங்கள் குறிப்பிடத் தக்க சிறப்பினைப் பெற்றுள்ளன. இவைதாம் சுறுசுறுப் பற்ற கூட்டத்தைச் சேர்ந்த எவற்றுடனும் எதிர்வினை கொள்ளா 'மந்த வாயுக்கள்'. இவற்றுள் முதலாவதாகவுள்ள

படம்-8: (ஏ) ஹீலிய அணுவின் மாதிரி உருவம்;
(பி) லிதிய அணுவின் மாதிரி உருவம்.

ஹீலியத்தைத் துகள் கூறின் மூலம் கிட்டத்தட்ட சமமான தூரத்தில் தன்னைச் சுற்றி வரும் இரண்டு எலக்ட்ரான்களைக் கொண்ட ஓர் அணுக்கருவாகக் கருதலாம் (படம் 8 (a). எனவே, முதற் கூடு ஏற்கெனவே இரண்டு எலக்ட்ரான் களால் முற்றுப்பெற்றுவிட்டது. அடுத்த தனிமம் லிதியம் என்பது; அதில் ஓர் எலக்ட்ரான் அதிகமாக உள்ளது; இந்த மூன்றாவது எலக்ட்ரான் இன்னும் சற்று வெளிப்புறமாகவுள்ள அயனப் பாதையில் ஒரு புதிய கூட்டில் தனிமையாகச் சுற்றிக் கொண்டுள்ளது (படம்-8 (b)). இந்த அணு மிக எளிதாக

ஓர் எலக்ட்ரானை விட்டுவிடும் என்பது வெளிப்படை; ஆகவே அது நேர் மின்ஏற்றம் பெற்ற அயனியாக அடிக்கடி காணப் பெறுகின்றது. லிதியம் நேர் மின்சாரப் பண்புடன் காணப் பெறுவதற்கு இதுவே விளக்கமாகும்; இத் தனிமத்தின் வேதியியல் பண்புகளில் இதுவே மிகவும் முக்கியமான சிறப் பியல்பாகும்.

மந்த வாயுக்கள்:

இம்முறையில் மேலும் மேலும் தனிமங்கள் அமைந் துள்ளன. ஒரு சில தனிமங்களுக்குப் பிறகு ஹீலியத்தைப் போலவே ஒரு முற்றுப்பெற்ற கூட்டினை நாம் சதா காண் கின்றோம். இந்த மெய்ம்மையின் அடிப்படையில் அமைந் துள்ள சிறப்பியல்பு யாதெனில், இந்தத் தனிமங்கள்[30]— ஹீலியம், நியான், ஆர்கான், கிரிப்டான், ஜெனன் என்ற மந்த வாயுக்கள்—வேதியியல்முறையில் எதிர்வினைகொள்ளா. அவை யாவும் ஓர் எல்லையின் முடிவையே குறிப்பிடுகின்றன; இஃது இந்நூலின் இறுதியிலுள்ள அட்டவணை-III-இல் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

இரண்டாவது கூடு:

ஏற்கெனவே நாம் குறிப்பிட்டவாறு, முதல் எல்லைக்குள் ஹைட்ரஜன், ஹீலியம் என்ற இரண்டு தனிமங்கள் அடங்கி யுள்ளன. இரண்டாவது எல்லைக்குள் (வட்டத்தில்) லிதியம், பெரிலியம், போரான், கார்பன், நைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன், ஃபுளோரின், நியான் என்ற எட்டுத் தனிமங்கள் உள்ளன. ஃபுளோரின் என்ற தனிமத்தின் வெளிப்புற வட்டத்தில் ஏழு

தமிழ் மொழிபெயர்ப்பாளரின் குறிப்பு:

30 ஹீலியம் - சூரியனிடமிருப்பது; நியான் - புதியன்; ஆர்கான் - சோம்பேறி; கிரிப்டான் - மறைந்தான்; ஜெனன்- அயலான்—என்று பொருள்படுவதை அறிக.

எலக்ட்ரான்கள் மட்டிலுமே இருப்பதால், இந்தக்கூடு நிரம்பு வதற்கு இன்னும் ஓர் எலக்ட்ரான் தேவைப்படுகின்றது. இந்த மெய்ம்மை ஃபுளோரினின் வேதியியற் பண்புகளுக்கு ஒரு குறிப்பாக அமைகின்றது: ஃபுளோரின் அணு எட்டா வது எலக்ட்ரானை ஏற்று இந்தக் கூட்டை நிரப்புவதற்கு எப்பொழுதும் தயாராக உள்ளது. எனவே, அஃது எதிர் மின்சார இயல்பைப் பெறவும், கரைசல்களில் எதிர் மின்னேற்றம் அடையவும் தயராக இருக்கின்றது. ஓர் எல்லையின் தொடக்கத்திலுள்ள தனிமங்கள் (ஹைட்ரஜனும் கார உலோகங்களும்) ஓர் எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு அவ் வெல்லைகளின் ஈற்றயலுக்குரிய தனிமங்களுள் ஒன்றனுடன் உடனே சேர்கின்றன; இவை உப்பீனிகள் (Halogens); இவை உடனே ஓர் எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொள்கின்றன. ஹைட் ரஜன் ஃபுளோரைடு (HF), சோடியம் குளோரைடு (Nacl) (சோற்றுப்பு) ஆகியவை இவ்வாறு சேர்ந்த கூட்டுப் பொரு ளுக்கு எடுத்துக்காட்டுக்களாகும்.

இரண்டுக்கு மேற்பட்ட கூடுகள்:

சோடியத்தில் தொடங்கி ஆர்கானில் முடிவுபெறும் மூன்றுவது எல்லைக்குள்ளும் எட்டுத் தனிமங்கள் அடங்கி யுள்ளன. அதன்பிறகு ஆவர்த்த அமைப்பு சிறிதளவு சிக்க லுள்ளதாகின்றது. நான்காவது எல்லையும் (பொட்டாசியத் திலிருந்து கிரிப்டான் வரை) ஐந்தாவது எல்லையும் (ருபீடியத் திலிருந்து ஜெனுன் வரை) ஒவ்வொன்றும் பதினெட்டுத் தனிமங்களுடன் கூடியனவாக அமைகின்றன; ஆறுவது எல்லைக்குள் (செசியத்திலிருந்து மந்த வாயுவாகிய ரேடான் வரை) முப்பத்திரண்டு தனிமங்கள் அடங்கியுள்ளன. இறுதி யாகவுள்ள எல்லை முற்றுப்பெறுதது என்பது வெளிப்படை; இன்றுவரை அதுகுயூரியத்துடன் (96) முடிவுபெற்றுள்ளது.[31]

---

31. இன்று நொபீலியம் (103) வரையிலும் மேலும் ஏழு தனிங்கள் கண்டறியப் பெற்றுள்ளன.

பல்வேறு எல்லைகளில் அடங்கியுள்ள தனிமங்களின் எண்ணிக்கைகள்—2, 8, 18, 32 அஃதாவது 2×1^2, 2×2^2, 2×3^2, 2×4^2,—ஓர் எளிய கணிதத்தொடர்பைப் பெற்றுள்ளன என்பது வெளிப்படை. இந்தக் கணிதத் தொடர்பை ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டுள்ள தனிப்பட்ட அதிர்வு நிலைகளின் குவாண்டம் எண்களைக்கொண்டு விளக்கம்பெறச் செய்யலாம். ஆனால், அந்த விளக்கத்தின் விவரங்களை ஈண்டு நாம் எடுத்து ஆராயப்போவதில்லை.

புறத்தமைப்பு அறிவின் பயன்:

மேம்போக்காக இருப்பினும், இப்பொழுது நாம் இதுகாறும் கண்டறியப்பெற்றுள்ள அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பு பற்றிய நடைமுறைக் கருத்துக்களைத்தெரிந்துகொண்டோம். தனிப்பட்ட தனிமங்களின் வேதியியற் பண்புகளைப் பொதுப் படையாகத் தெரிந்துகொள்வதற்கு இவ்வறிவு பௌதிக அறிஞருக்குத் துணையாகவுள்ளது. கொள்கையளவில், குவாண்டம் நுட்பயியிலைத் (Quantum mechanics) துணை கொண்டு வெப்பத்தினை வெளியிடுதல், வேதி நாட்டம் (Chemical affinities) முதலிய வேதியியல் அளவுகளை அளவறி முறையில் கணக்கிடுதல் சாத்தியமாகின்றனது. ஆனால், கணிதம்பற்றிய சங்கடங்கள் மிக அதிகமாயுள்ளன; மிக எளிதான சிலவற்றிற்குமட்டிலுந்தான் அத்தகைய கணக்கீடுகள் மேற்கொள்ளப்பெற்றுள்ளன.

அணுக்கருவின் புறத்தமைப்புபற்றிய ஆராய்ச்சி இஃதுடன் முடிவுபெறுகின்றது. இனி, நாம் முக்கிய தலைப்பாக்கிய 'அணுவின் உட்கரு' என்பதில் நம்முடைய கவனத்தைச் செலுத்துவோம்.

3. கதிரியக்கமும் அணுக்கருவின் துகள்களும்

(I) கதிரியக்கம்

பளுவான தனிமங்களின் கதிரியக்கம்:

எந்த ஓர் அமைப்பிலும் அதன் உட்புறத்தின் பௌதிகப் பண்புகளை ஆராயும்பொழுது ஒரு வகையில் அவை வெளியுலகுடன் விளைவிக்கும் பயன்களைக் கண்டறிய முயலவேண்டும்; மற்றொரு வகையில், இந்தச் செயல் நடைபெறும்பொழுது அவ்வமைப்பு எவ்வாறு இயங்குகின்றது என்பதைக் காட்டும் ஏதாவது ஒருமுறையில் அஃதை அணுக முயல வேண்டும். சிலவற்றில் வெளித்தலையீட்டினால் அதனை அதன் பகுதிக்கூறுகளாகச் சேதிக்க வேண்டிய (Dissect) இன்றியமையாமையும் நேரிடலாம். இந்த விதி அணுக்கருவிக்கும் பொருந்தும். எனவே, இத்தகைய தலையீட்டினை மேற்கொள்ளாமல் அணுவின் உள்ளமைப்பினைப்பற்றிய நாம் விரும்பும் விவரங்களைத் தரக்கூடிய அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகள் எவையேனும் உளவா என்ற வினா எழுகின்றது. சில பளுவான தனிமங்களின் கதிரியக்கம் (ஏற்கெனவே குறிப்பிடப்பெற்ற ஒரு நிகழ்ச்சி) நடைமுறையிலுள்ள ஒரு நிகழ்ச்சியாகும். இக் காரணத்தால் அதனை முதலில் ஆராய்வோம்.

கதிரியக்கத்தில் மூன்று தெளிவான கதிர்வீசல் வகைகளைக் காணலாம் என்பதை ஏற்கெனவே நாம் ஆராய்ந்துள்ளோம். அவை ஆல்பாக் கதிர்வீசல், பீட்டாக் கதிர்வீசல், காமாக் கதிர் வீசல் என்பவை. கதிரியக்கத்தினை முதன் முத

லாகக் கண்ட சில ஆண்டுகட்குப் பிறகு ரதர்ஃபோர்டும்[1] சாடியும்[2] ஆல்பா, பீட்டாக் கதிர்களை வெளிவிடல் வேதியியல் தனிமங்களின் மாற்றத்துடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது என்பதைக் கண்டறிந்தனர்; இக் கண்டுபிடிப்பு அணுக் கொள்கை வளர்ச்சிக்கு மிகவும் முக்கியமானது. இந்தக் கதிர்வீசல்களில் ஏதாவதொன்றனை வெளிவிட்ட பிறகு அந்த அணு அதே தனிமத்தின் அணுவாக இருத்தல் முடியாது.

கதிரியக்கம் அணுக்கொள்கைக்கு முக்கியம்:

இக் கண்டுபிடிப்பு அணுக்கொள்கைக்கு மிகமிக முக்கியமானது. அணுக்களைப்பற்றிய பழைய கருத்தினை இனி ஒதுக்கித் தள்ளிவிட வேண்டியதுதான்; வேதியியலின் அணுக்கள் இறுதியான, பிரிக்கமுடியாத சடப்பொருளின் துகள்களாலானவையாக இருத்தல் முடியாது. இன்றும் நிச்சயமாக ஒரு தனிமத்தைப் பிறிதொரு தனிமமாக வேதியியல்முறையில் மாற்றுவது சாத்தியமன்று. எனினும், இவ்விளைவினை உண்டாக்கக் கூடிய ஓர் இயற்கைச் செயல் உள்ளது என்பது உறுதியாகத் தெரிந்தது. கடந்த கால இரசவாதிகளின் அவாவிற்கும் நம்பிக்கைக்கும் இம்முறையில் புத்துயிர் அளிக்கப்பெற்றது. ஏனெனில், சிலவற்றில் இயற்கையே தனிமங்களின் மாற்றத்தை விளைவிக்கக் கூடுமாயின், தகுந்த கருவிகள் கண்டறியப்பெற்ற பிறகு செயற்கை முறையிலும் இச் செயலை மேற்கொள்ளுவது சாத்தியப்படக் கூடியதுதான். கொள்கையளவில் பாதரசத்தைப் பொன்னாக மாற்றுவதும் சாத்தியப்படக் கூடியதே!

கதிர்வீசலால் தனிமங்களில் மாற்றம்:

முதலாவதாக ஆல்பாத்துகள்களும் பீட்டாத்துகள்களும் மின்னூட்டங்களைச் சுமந்து செல்லுகின்றன என்றும், இரண்

---

1 ரதர் போர்டு-Rutherford. 2 சாடி-Soddy

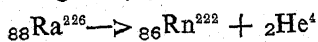
டாவதாக அணுவின் வேதியியற் பண்புகள் அதன் உட்கருவி லிருக்கும் அடிப்படை மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்துள்ளன என்றும் இன்றைய நம்முடைய அறிவினைக் கொண்டு ரதர்ஃபோர்டு-சாடியின் கண்டுபிடிப்பினை எளிதில் புரிந்து கொள்ளலாம். ஆல்பாத் துகள்களும் பீட்டாத் துகள் களும் அணுவின் உட்கருவில் தோன்றுகின்றனவேயன்றி அதன் புறத்தமைப்பில் தோன்றுவதில்லை. ஆல்பாத் துகள் கள் என்பவை ஹீலியத்தின் உட்கருக்களாகும்; அவற்றின் பொருண்மையாலும் மின்னூட்டத்தாலும் அவை அப்படிப் பட்டவை என்று இனங்காணப்பெற்றன. அவற்றின் பொருண்மை 4 அணுப் பொருண்மை அலகுகள்; அவை இரண்டு அடிப்படை மின்னூட்டங்களைச் சுமந்து செல்லுகின் றன. இதனை நாம் அவற்றின் 'பொருண்மை-எண்—4' என் றும், அவற்றின் 'அணு-எண்—2' என்றும் சுருக்கமாகக்குறிப் பிடுகின்றோம். இதன் அடிப்படையில் ஹீலிய அணு $_2He^4$ என்ற குறியீட்டால் குறிப்பிடப்பெறுகின்றது; இதில் வலப் புறத்தின் மேலுள்ள எண் பொருண்மை-எண்ணையும் இடப் புறத்தின் கீழுள்ள எண் அணு-எண்ணையும் உணர்த்துகின்றன. இத்தகைய குறியீட்டுமுறை எல்லாத் தனிமங்களின் அணுக் களுக்கும் மேற்கொள்ளப்பெறுகின்றது. ஆல்பாத் துகள் ஒன்று ஓர் அணுவின் உட்கருவினின்றும் வெளியேற்றப்பெற் றால் அது தனது பொருண்மையுடன் தனக்குரிய மின்னூட் டத்தையும் சுமந்தே செல்லும். அணுக்கரு இந்தப் பொருண் மையையும் மின்னூட்டத்தையும் இழக்கின்றது; அதனுடைய அணு-எண்ணில் (அதிலுள்ள அடிப்படை மின்சாரக் குவாண்ட எண்ணிக்கையில்) 2 குறைகின்றது; அதனால் பொருண்மை - எண்ணிலும் 4 குறைகின்றது, ஆயின், ஒரு பீட்டாத் துகள் எதிர் மின்ஏற்றமுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் ஆகும். அதனுடைய பொருண்மை- எண் கிட்டத்தட்ட 0; அதன் அணு-எண் 1. எனவே, பொதுவாக e என்பது 'எலக்ட் ரானை' உணர்த்தினால், எதிர் மின்ஏற்றமுள்ள எலக்ட்ரானின் குறியீட்டை $_{-1}e^0$ என்று எழுதிக் காட்டலாம். ஆகவே, ஓர் எலக்ட்ரான் வெளிவிடப்பெறுங்கால் அணுக்கருவின் எடை

மாறுவதில்லை. ஆனால், அதன் நேர்மின்னூட்டத்தில் 1 அதிகப் படுகின்றது; இதற்குக் காரணம், எதிர் மின்சாரத்தில் ஓர் அடிப் படைக் குவாண்டம் அளவு இழப்பதேயாகும். எனவே, ஓர் ஆல்பாத் துகளும் ஒரு பீட்டாத் துகளும் சேர்ந்து வெளிவிடப் பெறுதலால் அணு-எண்ணில் மாற்றம் நிகழ்கின்றது. தனி மங்களின் வேதியியற் பண்புகள் அணு- எண் எனப்படும் உட் கருவின் மின்ஏற்ற எண்ணைக்கொண்டு தீர்மானிக்கப் பெறுவ தால், ஆல்பாக் கதிர்வீசலும் பீட்டாக் கதிர்வீசலும் தனிமங் களின் மாற்றத்தை விளைவிக்க வேண்டும் என்பது தெளி வாகின்றது.

எடுத்துக்காட்டு, ரேடியம் :

ரேடியத்தை எடுத்துக்காட்டாகக்கொண்டு இந்த மெய்ம்மைகளை (Facts) இன்னும் சற்று விளக்கமாக ஆராய் வோம். ரேடியத்தின் பொருண்மை-எண் 226; அதன் அணு-எண் 88; ஆகவே, அதன் குறியீடு $_{88}Ra^{226}$. ரேடிய அணு உட்கரு விற்குப் புறத்தே 88 எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ளது; 86 எலக்ட்ரான்கள் (2+8+18+32+18+8) முற்றுப்பெற்ற கூடுகளை உண்டாக்குவதால், எல்லாவற்றிற்கும் வெளிப்புற மாகவுள்ள முற்றுப்பெறாத கூட்டில் சுழன்றுகொண்டிருக் கும் இரண்டு எலக்ட்ரான்களைக்கொண்டே ரேடியத்தின் வேதியியற் பண்புகள் அறுதியிடப்பெறுகின்றன. ஆகவே, ரேடி யத்தின் வேதியியற்பண்புகள் காரமண் உலோகங்களில் (Alka-line earth metals) ஒன்றன் வேதியியற் பண்புகளைப்போன் றுள்ளன; அஃதாவது, பேரியம் அல்லது ஸ்ட்ரான்ஷியத்தின் வேதியியற் பண்புகளை ஒத்துள்ளன. ரேடியத்தின் அணுக் கரு ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிட்டுக்கொண்டிருக்கின் றது; இந்தக் கதிர்வீசலின் விளைவாக அதன் பொருண்மை 222 ஆகக் குறைக்கப்பெறுகின்றது; அதன் உட்கருவின் மின் ஏற்றமும், அஃதாவது அணு-எண்ணும், 86 ஆகக் குறைகின் றது. ரேடியத்தைப்போலவே கதிரியக்கமுள்ள ஒரு புதிய தனிமம் உண்டாகின்றது. அதுதான் மந்தவாயுவாகிய

ரேடான் என்பது; அதன் குறியீடு $_{86}Rn^{222}$. உட்கருவிலுள்ள மின்ஏற்ற எண்ணின் காரணமாக ரேடான் அணு 86 எலக்ட்ரான்களை மட்டுமே கொண்டுள்ளன; இவை முற்றுப்பெற்ற கூடுகளில் அமைக்கப்பெற்றுள்ளன. ஆகவே, இந்த அணு வேதிச் செயலற்று (Chemically inactive) உள்ளது; அஃதாவது, இந்தத் தனிமம் ஒரு மந்த வாயு. ரேடிய அணுவிலிருந்து ஓர் ஆல்பாத் துகள் வெளிவிடப்பெறும் செயலும் ஒரு ரேடான் அணு உண்டாதலும் அடியிற்கண்ட வாய்பாட்டால் குறிப்பிடப்பெறுகின்றது :

$$_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rn^{222} + {}_{2}He^{4}$$

அம்புக்குறிக்கு இடப்புறமுள்ள குறியீடு கதிர்வீசும் அணுவினைக் குறிப்பது; அம்புக்குறிக்கு வலப்புறமுள்ள குறியீடுகள் ஆல்பாத் துகள் வெளியிடப்பெற்றதன் விளைவாக நேரிட்ட மாற்றத்தைக் காட்டுபவை. இத்தகைய வாய்பாட்டில் அம்புக்குறியின் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள குறியீடுகளின் வலப்புற மேல் எண்களின் கூட்டுத் தொகை சமமாக இருத்தல் வேண்டும்; இந்த எடுத்துக்காட்டில், $226 = 222 + 4$. இது பொருண்மை அழியா விதியிலிருந்து எழுந்ததாகும். இதே விதி குறியீடுகளின் இடப்புறக் கீழ் எண்களுக்கும் பொருந்துகின்றது; இதில் $88 = 86 + 2$. இது மின்னூட்டம் அழியா விதியிலிருந்து எழுந்ததாகும் பீட்டாக் கதிர்வீசல் நிகழும் செயல்களிலும் இவை போன்ற வாய்பாடுகளே கையாளப் பெறுகின்றன.

ஒருபடித்தான பொருளின் கதிரியக்கப் பண்புகள் :

ஒருபடித்தான கதிரியக்கப்பொருளின் வெளிவிடும் எல்லா—கிட்டத்தட்ட எல்லா—ஆல்பாத் துகள்களும் சரியாக ஒரே வீச்சினையே (Range) பெற்றுள்ளன. இது படம்-3 (a) யில் காட்டப்பெற்றுள்ள முகில் அறை ஒளிப்படத்தால் தெளிவாகின்றது. அஃது இரண்டு கதிரியக்கமுள்ள பொருள்களின் படிப்படியான சிதைந்தழிதலைக் காட்டுகின்றது; ஆதலால்தான் நாம் ஆல்பாக் கதிர்களின் இரண்டு தொகுதிகளைக்

காண்கின்றோம். காற்றில் பல்வேறு கதிரியக்கப்பொருள்களின் ஆல்பாத் துகள்களின் வீச்சு 1 செ. மீ. க்கும் 9 செ. மீ. க்கும் இடையில் அமைகின்றது; இவ்வீச்சு அணுக்கருவிலிருந்து துகள்கள் வெளிவருங்கால் அவை பெற்றுள்ள ஆற்றலைப் பொறுத்துள்ளது. ஆற்றல் அதிகமாக இருந்தால் வீச்சும் நீளமாகும்.

பல்வேறு கதிரியக்கப் பொருள்களும் தம்முடைய மாற்ற வேகங்களில் அதிக வேற்றுமைகளைக் காட்டுகின்றன. இப்பொருள்களில் சில குறுகிய ஆயுளையுடையவை; ஏனையவை அதிக நாட்கள் நீடித்திருக்கக்கூடியவை; நீண்ட காலத்திற்குப் பிறகும் இவற்றின் கதிரியக்கத்தில் குறைவைக் காண இயலாது. ஒவ்வொரு கதிரிக்கப் பொருளின் அணுக்களுக்கும் கதிரியக்கமுறையில் சிதைந்தழிதலில் ஓர் ஏற்பு நிலை (Probability) உண்டு; அதனை எண்ணால் குறிப்பிடலாம். இந்த ஏற்பு நிலையின் தலைகீழ்ப் பின்னந்தான் அந்தப் பொருளின் 'சராசரி வாழ்வு' (Average life) என்பது. சிதைந்தழிதலின் ஏற்பு நிலை,—ஆகவே, அதன் சராசரி வாழ்வு—ஏற்கெனவே சிதைந்தழிந்த அணுக்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்ததன்று. இன்னும் கட்டுக்கோப்பில் அமைந்துள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையின் அதே சத வீதம் ஒரு மூல அளவு காலத்தில் சிதைந்தழியும் என்றுகின்றது. இந்த விதி அடியிற்கண்ட சமன்பாட்டினால் உணர்த்தப்பெறுகின்றது:

$$dN = -\lambda N dt$$

இதிலிருந்து $N = N_0 e^{-\lambda t}$ என்பது பெறப்படுகின்றது. இதில் N_0 என்பது, காலம் $t = 0$ ஆக இருக்கும்பொழுது கட்டுக்கோப்பாக (Intact) இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கை; N என்பது t என்ற கால அளவில் கட்டுக்கோப்பாக உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை; e என்பது இயற்கை மடக்கையின் (Natural logarithm) அடி; λ என்பது சிதைந்தழிதலின் ஏற்பு நிலை; ஆகவே, $1/\lambda$ என்பது 'சராசரி வாழ்வு' ஆகின்றது. இந்தச் சராசரி வாழ்வுக்குப் பதிலாக அரை-வாழ்வு T என்பதை (மொத்த அணுக்களில் சரியாக ஒரு பாதி

அணுக்கள் அழியும் காலம்) அடிக்கடி பயன்படுத்துகின்றனர். 'அரை-வாழ்வு', 'சராசரி வாழ்வை'க் காட்டிலும் சிறிது குறைவாகவுள்ளது; அது சராசரி வாழ்விலிருந்து 2-இன் இயற்கை மடக்கைக் காரணியால் (log. nat. 2) வேறுபடுகின்றது. (நாம் $t = \frac{1}{\lambda} \log nat 2$ என்று எழுதினால், $N = N_0 \times e^{-\log nat 2} = \frac{1}{2} N_0$ என்று ஆகின்றது.) இந்த விதி ஆல்பாக் கதிர்வீசலுக்கும் பீட்டாக் கதிர்வீசலுக்கும் பொருந்துகின்றது.

எனவே, ஓர் ஒருபடித்தான பொருளின் கதிரியக்கப் பண்புகள் முக்கியமாக இரண்டு கூறுகளால் அறுதியிடப் பெறுகின்றன. அவை: ஒன்று, வெளியிடப்பெறும் துகள்களின் தன்மை; மற்றொன்று, அப்பொருளின் சராசரி வாழ்வு அல்லது அரை-வாழ்வு.

காமாக் கதிர்களின் ஆற்றல்:

காமாக்கதிர்கள் எடுத்துக்கொள்ளும் பங்கு ஒரு வகையில் வேறு விதமானது. இயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் காமாக் கதிர்கள் மட்டிலும் தனியாகத் தோன்றுவதில்லையென்பதையும், அவை ஏனைய இரண்டு வகைக் கதிர்வீசல்களில் ஏதாவது ஒன்றுடன் கலந்தே காணப்படும் என்பதையும் நாம் முதலிலேயே குறிப்பிட்டாக வேண்டும். காமாக்கதிர்கள் எக்ஸ் கதிர்களை விடவும்(இவற்றுடன் அவை வேறு கூறுகளில் சிறப்பாக ஒற்றுமையுடையவை) அல்லது ஆல்பாக் கதிர்களை விடவும் பீட்டாக் கதிர்களை விடவும் அதிகமான துளைத்துச் செல்லும் ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன. அவற்றின் துளைத்துச் செல்லும் ஆற்றலைப்பற்றி ஓரளவு சரியான கருத்தினை உணர்த்தவேண்டுமானால் இவ்வாறு கூறலாம்: ஓர் ஆல்பாக் கதிரை ஒரு காகிதம் உறிஞ்சிவிடும்; ஆனால் ஒரு பீட்டாக் கதிரை உறிஞ்சுவதற்கு அத்தகைய காகிதங்கள் 100 வேண்டும்; காமாக் கதிர்வீசலை உறிஞ்சுவதற்குப் பல தடித்த

புத்தகங்கள் வேண்டும். ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டுள்ளவாறு காமாக் கதிர்களை ஒதுக்கம் பெறச் செய்ய இயலாது; ஆல்பாக் கதிர்களைப் போலவும் பீட்டாக் கதிர்களைப் போலவும் அவற்றை முகில் அறைப்பெட்டியில் கண்ணுக்குப் புலனாகச் செய்யவும் முடியாது. ஏனெனில், காமாக் கதிர்களும் காற்றில் அயனியாதலை உண்டாக்கினாலும் இது நேர் முறையில் நடைபெறும் முதல் நிலைச் செயல் அன்று; காமாக் கதிர்கள் விடுவிக்கும் எலக்ட்ரான்களால் நேரல் முறையில் (Indirect way) நடைபெறும் அயனியாதல் இது. முகில் அறையில் அவற்றால் உண்டாக்கப்பெறும் இடைநிலைத் துகள்களின் சுவடுகளைமட்டிலுந்தான் நாம் காண முடியும்; காமாக் கதிர்களின் சுவடுகளோ நம் கண்ணுக்குப் புலனாவதில்லை. இந்த இரண்டு மெய்ம்மைகளும் ஒன்றோடொன்று முற்றிலும் பொருந்தக்கூடியவைகளாக உள்ளன. காமாக் கதிர்களில் மின்னூட்டம் இல்லாமையே இந்த இரண்டற்கும் காரணமாகக் கொள்ளலாம்.

காமாக் கதிர்கள்—எக்ஸ் கதிர்கள்: வேறுபாடுகள்:

உண்மையில் காமாக்கதிர்கள் எக்ஸ் கதிர்களினின்றும் (x-rays) கண்ணுக்குப் புலனாகக் கூடிய ஒளியினின்றும் வேறுபடுகின்றன; காமாக்கதிர்களின் அலை நீளம் மிகக்குறைவாக இருப்பதே இவ்வேறுபாடு. அவை மின்-காந்த அலைகளில் (Elctro-magnetic waves) ஓர் இனத்தைச் சேர்ந்தவை; அவ்வினத்தில் வானொலி அலைகள்தாம் மிக நீண்ட அலை நீளங்களைக் கொண்டுள்ளன. எனினும், ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டுள்ள அலை-துகள் இருமை (Wave-particle duality) இந்த எல்லா வகைக் கதிர்வீசல்களுக்கும் பொருந்தும் என்பதை நாம் அறிவோம். ஆகவே, காமாக் கதிர்களை அணுவின் உட்கருவிலிருந்து வெளி வரும் மின்-காந்த அலைகளாகச் சற்று முன்னர்க் குறிப்பிட்டிருந்தாலும், நாம் அவற்றைத் துகள்க் கூறின் அடிப்படையில் துகள்கள் என்றும், அஃதாவது அவை உட்கருவிலிருந்து வெளியே தள்ளப்பெறும் மிகவும் ஆற்றல்

வாய்ந்த ஒளியணுக்கள் (Photons) என்றும், அவை ஒளியின் நேர்வேகத்தில் (Velocity) இடப்பரப்பில் செல்லக் கூடியவை என்றும் கூறலாம்.

அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பு:

சில நிபந்தனைகளின்கீழ் அணுவின் உட்கருக்கள் காமாக் கதிர்களை வெளிவிடக் கூடும் என்ற மெய்ம்மை முற்றிலும் புரிந்துகொள்ளக் கூடியதே. வாயுநிலை மின்இறக்கத்தின் (Gaseous discharge) காரணமாக அணு கிளர்ச்சியுறுங்கால் அணுவின் உட்கருவிற்குப் புறத்தேயுள்ள அமைப்பு ஒளியை வெளிவிடக் கூடும் என்பதை ஏற்கெனவே நாம் அறிவோம். மிக வேகமான எலக்ட்ரான்களில் அணுக்களின் உள்-எலக்ட்ரான் கூடுகளிலிருந்து (Inner electron shells) துகள்கள் அகற்றப்பெறும்பொழுதும் அணுக்கள் எக்ஸ் கதிர்களைக் கூட வெளிவிடுகின்றன. இதிலிருந்து அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பு மின்சார மண்டலத்தாலானது என்பதுவும், அத்தகைய மண்டலமொன்றில் குழப்பம் நேரிட்டால் மின்-காந்த அலைகள் வெளிவிடப் பெறுகின்றன என்பதுவும் தெளிவாகின்றன. ஆனால், அணுவின் உட்கருவும் ஒரு மின்சார மண்டலமே; இஃது அது கொண்டுள்ள மின்ஏற்றத்தால் தெரிய வருகின்றது; ஆகவே, உட்கருவினுள் நடைபெறும் சில உட்செயல்களுடன் சேர்ந்து, உட்கருவும் மின்-காந்த அலைகளை—அஃதாவது காமாக் கதிர்வீசலை—வெளிவிடும் என்று நாம் காரணகாரியமுறையில் எதிர்பார்க்கலாம்.

இயற்கைக் கதிரியக்கத்தில் பீட்டாத் துகள்கள் எதிர் மின்ஏற்றத்தை மட்டிலும், அஃதாவது எதிர் மின்ஏற்றமுள்ள எலக்ட்ரான்களை மட்டிலும், சுமந்து செல்பவைகளாகக் காணப்பெறுகின்றன. செயற்கை முறையிலுண்டான கதிரியக்கப் பொருள்களின் கதிர்வீசலில் நேர் மின்னூட்டமுள்ள எலக்ட்ரான்கள்[3] கூட காணப்பெறுகின்றன என்பதை முன் கூட்டியே கூறுதல் இன்றியமையாதது; அவை எதிர்மின்

---

3. நேர் மின்னூட்டமுள்ள எலக்ட்ரான்கள் - Positively charged electrons.

னூட்டமுள்ள எலக்ட்ரான்களின் பொருண்மையைக் கொண்டுள்ளன; ஆனால், அவை ஒவ்வொன்றும் அடிப்படைக் குவாண்டம் நேர் மின்சாரத்தைச் சுமந்து செல்லுகின்றன (ஆண்டர்சன்)[4]. இன்று, இந்தத் துகள்களைப் பாசிட்ரான்கள் (Positrons) என வழங்குகின்றனர்; எலக்ட்ரான்கள் அவற்றின் எதிர் வகைகளே என்றும் கருதப்பெறுகின்றன. இந்தப் பாசிட்ரான்கள் ஏன் நீண்ட காலத்திற்கு முன்னதாகவே புலனாகவில்லை? அவை ஏன் அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பில் இருப்புக்கொள்ளவில்லை? என்ற வினாக்கள் எழுகின்றன. இவ்வினாக்களுக்குரிய விடை, சோதனைகள் மூலம் இந்த பாசிட்ரான்கள் அனைத்தும் குறுகிய ஆயுளையுடையவை (நிலையற்றவை)என்று நிலைநாட்டியதில் கிடைக்கின்றது. ஒரு பாசிட்ரான் ஓர் எலக்ட்ரானை அணுகியதும்—நடைமுறையில் மிகக் குறுகிய கால இடையீட்டுக்குப் பிறகு—அஃது அதனுடன் சேர்ந்து மின்சாரச் சமனிலையுள்ள அமைப்பை உண்டாக்கிவிடுகின்றது; இந்தச் சேர்க்கையாலுண்டாகும் விளைவுப் பொருள் ஒன்று அல்லது இரண்டு காமாக்கதிர் ஃபோட்டான்களாகும் (Gamma ray photons); அஃதாவது, மிகக் குறைந்த அலை-நீளத்தைக் கொண்ட ஒளியணுக்களாகும். இவை 'அழிவுக் கதிர்வீசலாக (Annihilation radiation) அமைகின்றன. பாசிட்ரான்களின் இருப்பையும் 'அழிவுக் கதிர்வீசலின்' இருப்பையும் முதன் முதலாக 'டிராக்'[5] என்பார் முற்கூறினார்; பின்னால் இவை சோதனைகளால் உறுதிப்படுத்தப்பெற்றன. அழிவுக் கதிர்வீசல் தன்னுடன் ஒத்த பகுதியையும் பெற்றுள்ளது; அணுக்கருவின் மிக அருகிலுள்ள ஆற்றல் வாய்ந்த புலத்தில் நுழைந்து செல்லும் ஃபோட்டான் எலக்ட்ரானாகவும் மாறக் கூடும்; அல்லது பாசிட்ரானாகவும் மாறக் கூடும். இந்த ஓர் இணை மின்ஏற்றம் பெற்ற துகள்கள் உண்டாவதை முகில் அறையில் உற்று நோக்குதல் கூடும்; இது படம் 9-ஆக வுள்ள ஒளிப் படத்தில் காட்டப்பெற்றுள்ளது. முகில் அறையில் மிகவும்

4. ஆண்டர்சன்-Anderson.
5. டிராக்-Dirac.

உறைப்பு வாய்ந்த ஒரு காந்தப்புலம் எலக்ட்ரான்களை ஒரு பக்கமாகவும் பாசிட்ரான்களை மற்றொரு பக்கமாகவும் ஒதுக்கித் தள்ளுவதால் அவை வளைந்த சுவடுகளை (Circular tracks) உண்டாக்குகின்றன (படம்—9). நம்முடைய ஒளிப்படத்தின் மேற்பாதியில் அத்தகைய இணை உண்டாதல் நிகழ்ந்துள்ளது; இவ்வாறு உண்டான எலக்ட்ரான், பாசிட்ரான் ஆகியவற்றின் இரண்டு சுவடுகளையும் படத்தில் தெளிவாகக் காணக் கூடும். இந்த ஒளிப்படம் மிகவும் பெரிதாக்கப்பெற்றிருப்பதால் சுவடுகளின் வழியிலுள்ள தனிப்பட்ட மேகத் துளிகளையும் காணுதல் கூடும். ஒரு சிறிது மங்கிய நிலையிலுள்ள சுவட்டை (Blurred track) உண்டாக்கிய மற்றோர் எலக்ட்ரானும் புலனாகின்றது. ஏனைய துளிகள் யாவும் ஓரளவு மாசுற்றதன் காரணமாகக் காணப்படுகின்றன.

அடிப்படைத் துகள்கள் :

எனினும், இந்த இணைத் துகள்கள் உண்டாகும் நிகழ்ச்சி ஒரு ஃபோட்டான் உண்மையில் ஓர் எலக்ட்ரானாலும் ஒரு பாசிட்ரானாலும் ஆனது என்பதைக் காட்டுவதாகக் கருதுதல் கூடாது. ஃபோட்டான் என்பது, ஓர் உண்மையான அடிப்படைத் துகள். ஆனால், அது ஏனைய துகள்களுடன் மோதும்பொழுதும் வன்மை வாய்ந்த புலங்களில் நுழையும் பொழுதும் மாறக் கூடியது. பொதுவாகக் கூறுமிடத்து, நவீன பௌதிகத்தில் 'அடிப்படைத் துகள்கள்' என்ற பொதுமைக்கருத்து ஒரு மாற்றத்தை அடைந்துள்ளது; இந்த அடிப்படைத் துகள்களை மிகவும் குறுகிய பொருளில்தான் 'இறுதியான, பிரிக்க முடியாத, சடப்பொருளின் கூறுகள்' என்று கூறலாம். ஏனெனில், பொருண்மை அழியா விதி, ஆற்றல் அழியாவிதி முதலிய விதிகளுடன் பொருந்துகின்ற வரையில் இந்த அடிப்படைத் துகள்கள் எந்தக் கட்டுப்பாடுமின்றி ஒன்று மற்றொன்றாக மாறக் கூடும் என்று மெய்ப்பிக்கப்பெற்றுள்ளது. ஆயினும், இந்த ஒரு காரணத்திற்காகவே, அவற்றுள் ஏதாவது ஒன்று ஏனையவற்றுள் சிலவற்றால் ஆனது என்று விளக்கியுரைப்பது பொருளற்றது.

ஆல்பாக்கதிர், பீட்டாக்கதிர்: வேற்றுமை :

ஆல்பாக் கதிர்களைவிட பீட்டாத் துகள்கள் மிக நீண்ட வீச்சினைப் (Range) பெற்றுள்ளன. பீட்டாத் துகள்கள் அதிக ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன என்பது இதற்கு விளக்கம் அன்று; ஆனால், அவை முக்கியமாகக் குறைந்த மின்னூட்டத்தையும் அதிகமான நேர்வேகத்தையும் பெற்றிருப்பதால், அவை மிகக் குறைந்த அளவுதான் அயனியாதலை உண்டாக்குதல் கூடும்; ஆதலால் அவை தம்முடைய பாதையில் ஆற்றலை மிக மெதுவாகவே இழக்கின்றன.

ஆனால், ஆல்பாக் கதிர்களுக்கும் பீட்டாக் கதிர்களுக்கும் மிகவும் சிறப்பியல்பான இன்னொரு வேற்றுமையும் உண்டு. ஓர் ஒருபடித்தான கதிரியக்கப் பொருளின் எல்லா ஆல்பாக் கதிர்களும் சரியாக ஒரேவீச்சினையே பெற்றுள்ளன; ஆதலால் அவற்றின் ஆற்றலும் ஒரே அளவுதான் இருக்கும். எதிர்ப் பார்க்கவேண்டியதும் இதுதான்; ஏனெனில், ஏதாவது ஒரு வேதியியல் செய்கையில் வெளிப்படும் ஆற்றல் அந்த அமைப் பின் தொடக்க, இறுதி நிலைகளிலிருந்து தீர்மானிக்கப்பெறு வது போலவே, கதிரியக்கச் சிதைந்தழிதலால் வெளிப்படும் ஆற்றலும்—அஃதாவது, சிறப்பாக ஆல்பாத்துகளின் ஆற்றல் —அணுக்கருவின் தொடக்க, இறுதி நிலைகளைப் பொறுத்துள் ளது. பொதுவாகக் கூறுமிடத்து, ஒரே வகையைச் சேர்ந்த எல்லா உட்கருக்களும் ஒரே அளவு ஆற்றலைத்தான் கொண் டுள்ளன; ஆனால், பீட்டாக் கதிர்களைப் பொறுத்தமட்டிலும் இந்நிலை ஆல்பாக் கதிர்களின் நிலையினின்றும் வேறு விதமாக உள்ளது. எந்த ஒருபடித்தான கதிரியக்கப் பொருளும் மிக அதிகமான நேர்வேக எல்லையிலிருந்து மிகக் குறைந்த நேர் வேக எல்லை வரையிலும் உள்ள எல்லாவித நேர்வேகங்களைக் கொண்ட பீட்டாக் கதிர்களை வெளிவிடும். இந்த மேலெல்லை யுடன் ஒத்துள்ள ஆற்றல் அணுவின் தொடக்க, இறுதி நிலை களிலுள்ள ஆற்றல்களின் வேற்றுமையுடன் முற்றிலும் ஒத் துள்ளதாகக் காணப்படுகின்றது. தனிப்பட்ட பீட்டாத் துகள்களினின்று குறையும் ஆற்றலை (Energy missing) ஏதா

வது ஒரு வழியில் நீக்காத வரையில், குறைந்த வேகத்தைக் கொண்ட துகள்கள் உண்டாதல் ஆற்றல் விதிக்கு முரணுடையதாகின்றது. இது பாலியின் கொள்கைக்கு, அஃதாவது ஒவ்வொரு பீட்டாத் துகளுடனும் மற்றொரு துகளும் ஆற்றல் வேற்றுமையைச் சுமந்துகொண்டு உட்கருவினின்றும் வெளியேறுகின்றது என்ற உண்மைக்கு, நம்மைக் கொண்டுசெல்லுகின்றது. இந்த ஆற்றலின் மொத்தக் கூடுதல் எப்பொழுதும் மாறாத நிலையில் உள்ளது; திட்டமான புள்ளிவிவர இயல் பற்றிய விதிகளுக்கிணங்க இந்த மொத்தக் கூடுதலான ஆற்றல் பீட்டாத் துகளாலும் இந்தப் புதிய துகளாலும் பகிர்ந்து கொள்ளப்பெறுகின்றது.

புதிய துகள் :

இந்தப் புதிய துகள் எவ்வித மின்னூட்டமுமின்றி இருத்தல் வேண்டும்; இல்லாவிட்டால் ஒரு பீட்டாக் கதிர்வீசல் நிகழும்பொழுது மின்னூட்டம் ஓர் அலகு அதிகரிக்கின்றது என்ற உண்மையை விளக்குவது—ஒவ்வொரு நிகழ்ச்சியிலும் சோதனை மூலம் உறுதிப்படுத்தப்பெற்றது இது—இயலாது போய்விடும். இந்தத் துகள் முகில் அறையில் புலனாவதில்லை என்ற உண்மையாலும், இந்தப் புதிய துகளில் ஒருவித மின்னூட்டமும் இல்லை என்பது உணர்த்தப்பெறுகின்றது. இந்தப் புதிய துகள் மின்சாரச் சமனிலையில் இருப்பதாலும், அதன் பொருண்மை நிச்சயமாக மிகச் சிறியதாக இருப்பதாலும் அது நியூட்ரினோ (Neutrino) என்று வழங்கப்பெறுகின்றது. இதுகாறும் மேற்கொள்ளப்பெற்ற ஒவ்வொரு சோதனையின் முடிவின்படியும், நியூட்ரினோவின் பொருண்மை எலக்ட்ரானின் பொருண்மையைவிட மிகச்சிறிதே என்று தெரிகின்றது. ஆனால், அஃது உண்மையில் ஃபோட்டானின் அசையாநிலைப்பொருண்மையைப் போலவே (Rest mass) 0 ஆக உள்ளதா என்பதை இன்னும் உறுதியாகக் கூறுவதற்கில்லை.

(II) செயற்கைமுறை அணுக்கரு மாற்றங்கள்.

ரதர்ஃபோர்டின் சோதனைகள் :

அணுக்கள் அவற்றின் உட்கருக்களின் பண்புகளுக்குக்குறிப்புக்களாக (Clues) அமைந்துள்ளன என்பதை நாம் விவரமாக எடுத்துரைத்தோம். இனி,வெளித் தலையீட்டின்மூலம் உட்கருவினைப்பற்றிச் சரியானதும் விவரமானதுமான தகவலை அறிவதற்காக மேற்கொள்ளப்பெறும் சோதனைகளை ஆராய்வோம். மேலும்,ரதர்ஃபோர்டு என்பார்தான் இத்துறையிலும் முதல் முயற்சியை மேற்கொண்டார். அவர் செய்கை முறையில் ஓர் அணுவைப் பிறிதோர் அணுவாக மாற்றம் அடையச் செய்வதற்குரிய—ஆல்பாத் துகள்களைக்கொண்டு அணுக்களைத் தாக்குவதற்குரிய—சரியான கருவியைக் கண்டுபிடித்தார். 1919-இல் இம்முறையால் ஒரு தனிமத்தை மாற்றம் அடையச் செய்தார்: நைட்ரஜனை ஆக்ஸிஜனாக மாற்றினார். ஆனால், முக்கியமான பண்புகளை மாற்றுவதற்குரிய வழியை இம்முறை தந்துவிட்டது என்று நாம் கருதக்கூடாது. ஒரு சில அணுக்களில்மட்டிலும்தான் இம்மாற்றம் நடைபெற்றது. ஆனால், இஃது இக்கண்டுபிடிப்பின் அடிப்படை முக்கியத்துவத்தைக் தவறாகச் செய்கின்றதில்லை.

ஆல்பாக்கதிர்களைக்கொண்டு நைட்ரஜன் அணுக்கள் தாக்கப்பெறுங்கால் நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற ஹைட்ரஜன் அணுக்களைக் கொண்ட—ஹைட்ரஜன் உட்கருக்கள்—ஒரு வகைக் கதிர்வீசல் வெளிவிடப்பெற்றதை ரதர்ஃபோர்டு கண்டார். ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் உட்கரு ஓர் அடிப்படைத் துகள்; நாம் பின்னும் காண்பதைப்போல், அது—இந்தக் காரணத்திற்காகவே—சடப்பொருளின் மிக முக்கியமான அடிப்படைத் துகள்களில் ஒன்றாகும். ஆகவே, அது புரோட்டான் (Proton) என்ற பெயரிடப்பெற்றுள்ளது. ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ஆல்பாத்துகள்களால்—அஃதாவது ஹீலிய அணுக்கருக்களால்—தாக்கப்பெறுங்கால் சில சமயம்

ஹைட்ரஜன் அணுக் கருவிலிருந்து ஒரு புரோட்டான் வெளி விடப்பெறுகின்றது. ஆல்பாத் துகள் அணுக்கருவிலேயே தங்கிவிடுகின்றது. இத்தகைய சந்தர்ப்பத்தில் அணுக்கரு விற்கு என்ன நேடுகின்றது என்பதைக் கணக்கிடுவதற்கு பொருண்மை அழியா விதியும், ஆற்றல் அழியா விதியும் நமக்குத் துணையாக அமைகின்றன. நைட்ரஜன் அணுக்கருவின் பொருண்மை-எண் 14; அதன் மின்னூட்ட-எண் (அணு-எண்) 7. ஆகவே, அதன் குறியீடு, ${}_7N^{14}$. ஆல்பாத் துகளின் பொருண்மை-எண்ணும் மின்னூட்ட-எண்ணும் ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டது போல் முறையே 4ம் 2ம் ஆகும். அதன் குறியீடு, ${}_2H^4$. புரோட்டானின் குறியீடு, ${}_1H^1$; பொருண்மையைப் பொறுத்தவரையில், ஓர் ஆல்பாத்துகள் உறிஞ்சப்பெற்றதாலும் ஒரு புரோட்டான் இழக்கப்பெற்றதாலும் நைட்ரஜன் அணுக்கரு அடியிற் கண்டவாறு மாற்றம் அடைகின்றது.

$$14 + 4 - 1 = 17$$

ஆனல், அதன் மின்னூட்டத்தைப் பொறுத்தவரையில் கீழ்க் கண்ட சமன்பாடு பொருந்துகின்றது :

$$7 + 2 - 1 = 8 .$$

எனவே, பொருண்மை 17-உம் அணுககரு மின்னூட்டம் (அணு-எண்)8-உம் கொண்ட ஓர் அணுக்கரு உண்டாகின்றது. இந்த அணுக்கரு மின்னூட்ட-எண், அஃது ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணு என்று உணர்த்துகின்றது; ஆனல், பொருண்மை-எண் 17 சாதாரணமான ஆக்ஸிஜன் அணுவின் பொருண்மை-எண்ணுடன் ஒத்ததாக இல்லை; ஆக்ஸிஜன் அணுவின் பொருண்மை-எண் 16. உண்மை என்னவெனில், இஃது ஆக்ஸிஜனின் அரியதோர் ஐசோடோப்பு (Isotope) ஆகும். இத்தகைய ஐசோடோப்புக்களைப்பற்றி பின்னர் ஆராய்வோம். ${}_7N^{14}$ என்ற நைட்ரஜன் ${}_8O^{17}$ என்ற ஆக்ஸிஜனை அடைந்த மாற்றம்தான் தனிமங்களின் செயற்கை முறை மாற்றத்தின் பெயர்பெற்ற முதல் எடுத்துக்காட்டாகும்.

இத்தகைய அணுக்கரு எதிர்வினைகளை (Reations) பொருத்தமான வாய்பாடுகளால் விளக்கலாம். இங்குக் குறிப்பிட்ட எதிர்வினையின் வாய்பாடு இது:

$$_7N^{14} + _2He^4 \longrightarrow _8O^{17} + _1H^1$$

இத்தகைய அணுக்கரு மாற்றங்களை முகில் அறையில் காண்டல் கூடும். (பிளாக்கெட்)[6]. ஆனால், இந் நிகழ்ச்சிகள் மிகவும் அரிதானவையாதலின், அணுக்கரு மாற்றம் அடைவதைக் காண்பதற்கு ஏற்றவாறு இருப்பதாகப் பல்லாயிரக் கணக்கான ஒளிப்படங்கள் எடுக்கப்பெறுதல் வேண்டும்.

பட விளக்கம்:

படம்-10-இல் வலப்புறமிருந்து இடப்புறமாகச் செல்லும் ஆல்பாத் துகள்களின் சுவடுகளைப் பேரெண்ணிக்கையில் காண்கின்றோம். ஆனால், ஓரிடத்தில் ஒரு தனிபபட்ட மூலை விட்டச் சுவடு, வலப்புறமாகச் சாய்ந்த வண்ணம் மேல்நோக்கிச் சென்று ஆல்பாத் துகள்களின் பெருவழியைக் (Main path) குறுக்கே கடந்து செல்லுகின்றது. இன்னும் இந்த ஒளிப்படத்தை நன்கு ஆராய்ந்தால் நாம் மிகவும் தடித்த இரண்டாவது சுவடொன்றைக் காணலாம் (Detect); இது முதற் சுவடு தொடங்கும் புள்ளியிலிருந்து கிளம்பி இடப் புறத்தில் சற்றுக் கீழ்நோக்கிச் சாய்ந்து மூலை விட்டமாகச் செல்லுகின்றது. இந்தப் புள்ளியில்தான் அணுக்கரு மாற்றம் நடைபெற்றது; இஃது ஆல்பாத்துகள்களால் உண்டாயிற்று. இந்த இரண்டு சுவடுகளில் முதலாவது அணுக்கருவினின்றும் வெளியே தள்ளப்பெற்ற புரோட்டானின் பாதையாகும்; இரண்டாவது இந்தச் செயலில் வலுவான தாக்குதலைப் பெற்ற மாற்றம் அடைந்த அணுக்கருவின் பாதையாகும்.

புரோட்டான்கள் கிட்டத்தட்ட அணுக்கருக்களின் அடிப்படைத் துகள்கள் என்பதை இந்தச் சோதனைகள் உணர்த்துகின்றன; எல்லா அணுக்களும் ஹைட்ரஜனி

---

6. பிளாக்கெட்-Blackett.

லிருந்தே உண்டாகின்றன என்ற பிரௌட்டின்[7] கருதுகோளை யும் இது நினைவூட்டுவதாக உள்ளது.

நியூட்ரான் :

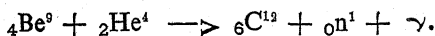
இனி, 1932-இல் அதுகாறும் முற்றிலும் அறியப்பெறாத துகளொன்று கண்டறியப்பெற்றது; அஃது இதனை யொத்த ஒரு முறையைமேற்கொண்டு அணுவின் உட்கருக்களினின்றும் வெளியே தள்ளப்பெற்றது. இந்தக் கண்டுபிடிப்பு ஜோலியட்[8] குயூரி,[9] சாட்விக்[10] என்ற மூன்று அறிஞர்களின் அருஞ்செயலா கும் (Achievement); இவர்கள் செருமானிய நாட்டில் போதே[11] என்பாரால் முதன்முதலில் கண்டறியப்பெற்ற வழியைப் பின் தொடர்ந்து சென்றனர். இந்தத் துகள் புரோட்டானின் பொருண்மையையே பெற்றுள்ளது; அதில் மின்னூட்டமே இல்லை; ஆகவே, அது முகில் அறையில் கண்ணுக்குப் புலனாகக் கூடிய சுவட்டினை உண்டாக்குவதில்லை. அது நியூட்ரான் (Neutron) என்று வழங்கப்பெற்றது. நியூட்ரான் வெளிப் பட்டதைக் கண்ட முதல் அணுக்கரு இயக்கம் பெரிலியம் மாற்றம் அடைந்ததாகும். பெரிலிய அணுக்களின் பொருண்மை-எண் 9; அணு-எண் 4; அவை ($_4Be^9$) ஆல்பாத் துகள்களால் ($_2He^4$) தாக்கப்பெற்றன; ஏற்பட்ட விளைவுப் பொருள், பொருண்மை-எண் 12-உம் அணு-எண் 6-உம் கொண்ட கார்பன் அணுக்கருவாகும். அடியிற்கண்ட சமன் பாடுகள் சம்பந்தப்பட்ட துகள்களின் பொருண்மைகளையும் மின்னூட்டங்களையும் (பொருண்மை- எண்களையும் அணு எண்களையும்) காட்டுகின்றன :

$$9 + 4 - 12 = 1; \quad 4 + 2 - 6 = 0.$$

---

7. பிரௌட்-Prout.
8. ஜோலியட்-Joliot.
9. குயூரி-Curie.
10. சாட்விக்-Chadwick.
11. போதே-Bothe.

இந்தச் செயலில் பொருண்மை-எண் 1-உம் மின்னூட்ட எண் (அணு-எண்) 0-உம் கொண்ட துகளொன்று—நியூட்ரான்—வெளியேற்றப்பட்டது. இந்தத் துகளினை நாம் $_0n^1$ என்ற குறியீட்டினால் வழங்குகின்றோம்; இந்த அணுக்கரு இயக்கத்தையும் (Nuclear reaction) (இத்தகைய செயல்களுக்கு இப்பெயர் கொடுக்கப்பெற்றுள்ளது) ஏற்கெனவே ஆராய்ந்தவற்றையும் நாம் வாய்பாடுகளால் குறிப்பிடலாம். நியூட்ரானுடன் காமாக்கதிர் ஃபோட்டான் (அதன் குறியீடு γ என்பது) அடிக்கடி உண்டாவதையும் கூட நாம் ஆராய்ச்சிக்கு எடுத்துக்கொள்ளுகின்றோம். ஆகவே, இப்பொழுது குறிப்பிட்ட அணுக்கருவின் இயக்கம் இவ்வாறு குறிக்கப்பெறுகின்றது :

$$_4Be^9 + {_2He^4} \longrightarrow {_6C^{12}} + {_0n^1} + \gamma.$$

இத்தகைய அணுக்கரு இயக்கத்தினால் நிலையற்ற அணுக்கள் உண்டாதல் அடிக்கடி நிகழ்கின்றது; அஃதாவது, இயற்கையில் கிடைக்காத கதிரியக்க அணுக்கள் உண்டாகின்றன; இவை ஒரு குறிப்பிட்ட கால எல்லைக்குப் பிறகு சில நிலையான அணுவகைகளாக மாறுகின்றன. இதுகாறும் அறிந்தவற்றுள் இந்தச் செயல் எலக்ட்ரான்கள் அல்லது பாசிட்ரான்கள் வெளிவிடுவதுடன் மட்டிலும் நடைபெறுகின்றது. அணுக்கருக்களிலிருந்து தாமாகவோ அல்லது வெளிப்புறத் தலையீட்டினாலோ வெளிப்படும் துகள்களின் இயல்பைப்பற்றிய நம் ஆராய்ச்சியை இந்த மெய்ம்மை முற்றுப்பெறச் செய்கின்றது.

(III) அணுக்கருக்களின் அடிப்படைக் கூறுகள்

அடிப்படைத் துகள்கள் :

இதுகாறும் நாம் பெற்ற அறிவினைக் கொண்டு அடிப்படைத் துகள்களுள் எவற்றை அணுக்கருக்களின் இறுதியான துகள்களாகக் கருதலாம் என்ற வினவை ஆராயப் புகலாம். இந்தத் துகள்கள் யாவை என்பதை மீண்டும் ஒரு முறை இங்கு எடுத்துரைப்போம். புரோட்டான்,

நியூட்ரான், எலக்ட்ரான், பாசிட்ரான், நியூட்ரினே, காமாக் கதிர் ஃபோட்டான்(Gamma-ray photon)என்பவை அத்துகள்க ளாகும். மேலும், ஆல்பாத்துகள்கள் என்பவையும் உள்ளன. ஆனல், பொருண்மை-எண்களேயும் மின்னூட்ட எண்களேயும் நோக்குமிடத்து இறுதியாகக் குறிப்பிட்ட ஆல்பாத்துகள்கள் அடிப்படைத் துகள்கள் அல்ல என்றும், அவை கலவை அமைப்புக்கள் என்றும் நாம் கருத இடமுண்டு. எனினும், அடிப்படைத் துகள்களின் நமது பட்டியல் இன்னும் முற்றுப் பெறவில்லே. முதலாவதாக, அப் பட்டியலில் ஆண்டி நியூட் ரினே (Antineutrino) என்ற துகள் சேர்க்கப்பெறவில்லே: காரணம், பாசிட்ரான் எலக்ட்ரான் எண்ணுக்கு எதிராக இருப்பதுபோல் ஆண்டி நியூட்ரினே ஏன்பது நியூட்ரினேவின் எதிர் எண்ணுக இருக்கின்றது. அது கிட்டத் தட்டப் பொருண்மையின்மையையும் மின்னூட்டமின்மையையும் கொண்டிருக்கும்பொழுது, அஃது ஒரு பண்பில் நியூட்ரினேவி னின்றும் வேறுபடுகின்றது; இப்பண்பு எல்லா அடிப்படைத் துகள்களிலும் உள்ளது; அதை நாம் இன்னும் எடுத்துக் கூற வில்லே; அதன் தற்சுழற்கி (Spin) (அல்லது கோணத் திருப்பு திறன்-Angular momentum) ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலுள்ள காந்தத் திருப்புதிறனுக்கு (Magnetic moment) எதிர்த்திசை யில் இருக்கும். பல அடிப்படைத் துகள்கள் தாமாகச் சுழன்று கொண்டிருக்கும் சிறிய பம்பரம்போல் இயங்குகின்றன. ஆனல், அவற்றின் கோணத் திருப்புதிறன்கள் குறிப்பிட்ட திட்டமான மதிப்புக்களேமட்டிலுந்தான் பெற்றிருத்தல் கூடும்; இம் மதிப்புக்களுக்குக் குவாண்டம் பொறிநுட்ப வியலால்தான் (Quantum mechanics) விளக்கம் தர முடியும். நாம் எடுத்துக்கொண்டுள்ள அடிப்படைத் துகள்களேப் பொறுத்தவரையில் பொதுவாக இம்மதிப்பு $\hbar/2$ அல்லது $\hbar$ ஆகும்; இந்த $\hbar$ என்பது $h/2\pi$ என்பதன் சுருக்கக் குறியீடா கும்; h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி (Constant). பொதுவாக இந்தத் தற்சுழற்சித் திருப்புதிறனின் விளேவு இதுதான். அந் தத் துகள்கள் ஒரு காந்தத் திருப்புதிறனேக் கொண்டுள்ளன: அஃதாவது, அவை சிறிய காந்தங்கள்போல் இயங்குகின்றன.

பளுவான துகள்களில் இந்தக் காந்தத் திருப்புதிறன் 'அணுக்கரு மேக்னெட்டான்' (Nuclear magneton or n.m.) என்ற அலகினுல் அளக்கப்பெறுகின்றது; இலேசான துகள் களில் 'போர் மேக்னெட்டான்' (Bohr magneton or B.m.), என்ற ஒரு பெரிய அலகு மேற்கொள்ளப்பெறுகின்றது (அட்டவணை-I ஐப் பார்க்க).

மேசான் :

இன்னும் மற்ருேர் அடிப்படைத் துகள் உண்டு; அதனை யும் நாம் குறிப்பிடவேண்டும். அது மேசான் (Meson) என வழங்கப்பெறுகின்றது; அதன் பொருண்மை எலக்ட்ரானின் பொருண்மைக்கும் புரோட்டானின் பொருண்மைக்கும் இடைப்பட்டிருப்பதால் 'மேசான்'[12] என்று வழங்கப்பெறு கின்றது. மேசான்களை அண்டக் கதிர்வீசலில் (Cosmic-radiation) காணலாம்; அவற்றின் பண்புகளைப்பற்றி மேலும் பல விவரங்களைக் கூறுவதற்கு முன்னதாக அண்டக் கதிர்வீச லின் இயல்பைப்பற்றிச் சில சொற்கள் பகர்வோம்.

அண்டக் கதிர்வீசல்

ஹெஸ்,[13] கோஹ்ல்ஹார்ஸ்ட்டர்[14] என்ற இரு அறிஞர் கள் மேற்கொண்ட ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக, வானவெளி யிலிருந்து மங்கலான, தொடர்ந்த, மிகவும் ஊடுருவிச் செல் லக்கூடிய, கதிர்வீசல் ஒன்று பூமியை வந்தடைகின்றது என்று கிட்டத்தட்ட நாற்பது ஆண்டுகளாக நாம் அறிவோம்; இப் புவியின் வளி மண்டலத்தின் (Atmosphere) மேலுறையில் அது கதிரியக்கக் கதிர்வீசலைப் போன்ற எல்லாவகையான

---

12. Meson என்ற கிரேக்கச் சொல்லுக்கு இடையிலிருப் பது அல்லது நடுவிலிருப்பது என்பது பொருள்.

13. ஹெஸ்-Hess.

14. கோஹ்ல்ஹார்ஸ்ட்டர்-Kohlhorester.

இடைநிலைக் கதிர்வீசலை விடுவிக்கின்றது. எனினும், 1947-இலிருந்துதான் தனிச் சிறப்பிற்குரிய இந்த நிகழ்ச்சியின் காரணத்தைப்பற்றி ஓரளவு அறிகின்றோம். ஃபார்புஷ்,[15], எஹ்மெர்ட்[16] என்ற இரண்டு அறிஞர்களின் உழைப்பின் பயனாகவே இந்த அறிவு நமக்குக் கிடைத்தது; கதிரவனின் மேற்பரப்பில் சில குறிப்பிட்ட வெடித்தெறிதல்கள் (Eruptions) நிகழுங்கால் பூமியின்மீது படும் அண்டக் கதிர்வீசலின் உறைப்பு திடுமென அதிகரிக்கின்றது என்பதை அந்த அறிஞர்கள் மெய்ப்பிக்க முடிந்தது. ஆகவே, விண்மீன்களின் மேற்பரப்பின்மீதும், சிறப்பாகச் செந்நிறமுள்ள பல விண்மீன்களின்மீதும் (அன்சோல்டு[17] என்பார் கொள்கைப்படி) அல்லது விண்மீன்களுக்கிடைப்பட்ட வெளியிலும் (Interstel-ler space) உள்ள பருவமுறைப்படி மாறிக் கொண்டிருக்கும் பெரிய மின்-காந்தப் புலங்களில் இந்த அண்டக் கதிர்வீசல் உண்டாகின்றது. இந்த மின்-காந்தப் புலங்கள் மிக அதிகமான தீவிர அளவுகளைப் பெற்று மின்னூட்டத்துகள்களை மிக அதிகமான நேர் வேகங்களில் முடுக்கி விடுகின்றன.[18] முதலாவதாக ஹைட்ரஜன் அணுக்கருக்கள்தாம் இவ்வாறு முடுக்கி விடப்பெறுகின்றன; காரணம், விண்மீன்கள் பெரும்பாலும் ஹைட்ரஜனாலானவை. ஆனால், இந்த விளைவு பளுவான அணுக்களின் உட்கருக்களுக்கும் நேரிடுகின்றது. ஆகவே, அவை விண்மீன்களினின்றும் கிளம்பி அண்டவெளியின்மூலம் முதல் நிலை (Primary) அண்டக கதிர்வீசலாக விரைந்து வருகின்றன. இந்தத் துகள்கள் புறவெளியிலிருந்து பூமியின் வளிமண்டலத்தை 10^9விருந்து 10^{10}வரை எலக்ட்ரான்-வோல்ட்

---

15. ஃபார்புஷ்-Forbush.
16. எஹ்மெர்ட்-Ehmert.
17. அன்சோல்டு-Unsold.
18. பேகே-(Bagge), பியர்மேன் (Biermann) என்ற அறிஞர்களின் கருத்துப்படி விண்மீன்களின் மேற்பரப்பில் ஒரு தீவிரமான புள்ளி இயக்கம் நிலவும்பொழுது இது நேரிடுகின்றது.

(Electron-volt) வீச்சுள்ள இயக்க ஆற்றல்களுடன் (Kinetic energies) தாக்குகின்றன. ஆயினும், 10^{16} எலக்ட்ரான்-வோல்ட்டு ஆற்றல்களைக் கொண்ட துகள்களும் கண்டறியப் பெற்றுள்ளன. பூமியின் வளி மண்டல மேலுறையில், அத் தகைய பேராற்றலைக் கொண்ட துகள்கள் அணுச்சிதைந்தழி தலுடன் எல்லாவகை அணுக்கருமாற்றங்களையும் உண்டாக்கு கின்றன; இந்தச் செய்கையின்பொழுது பல்வேறு வகை அடிப்படைத் துகள்களும் படைக்கப்பெறுகின்றன.

ஈண்டுக் குறிப்பிடப்பெற்ற மேசான் என்ற அடிப்படைத் துகள் இம்முறையில்தான் கண்டறியப்பெற்றது (ஆண்டர் சன்). அணுக்கரு பௌதிகத்தில் இந்தத் துகளின் இன்றி யமையாமை இன்னும் தெளிவாக்கப்பெறவில்லை. அதன் பொருண்மை எலக்ட்ரானின் பொருண்மையைப்போல் கிட் டத்தட்ட இருநூறு மடங்கு உள்ளதென்றும், அஃது ஓர் அடிப்படைமின்னூட்டத்தைச் சுமந்துசெல்லுகின்றதென்றும் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற மேசான்களும் எதிர்மின்னூட் டம்பெற்ற மேசான்களும் உள்ளன என்றும் நாம் அறிவோம். இதற்குமேல், இன்னும் அதன் பண்புகளைப்பற்றி அதிகம் ஒன்றும் தெரியவில்லை. 1947-இல் பவல்[19] என்பார் மற்றோர் அடிப்படைத் துகளினைக் கண்டுபிடித்தார்; அதன் பொருண்மை எலக்ட்ரானின் பொருண்மையைப்போல் கிட்டத்தட்ட முன்னூறு மடங்கு உள்ளது. அது பளுவான மேசான் (Heavy meson) அல்லது பை-துகள் (π-particle) என்று வழங்கப்பெறுகின்றது. லெப்ரின்ஸ்-ரிங்க்வெட்,[20] ரோச் செஸ்டர்,[21] பட்லர்[22] என்பார் மேற்கொண்ட ஆராய்ச்சிகளை இன்னும் அதிகப் பளுவான ஓர் அடிப்படைத் துகளின் இருப் பைக் காட்டியுள்ளன; அதன் பொருண்மை எலக்ட்ரானின்

19. பவல்-Powell.
20. லெப்ரின்ஸ்-ரிங்க்வெட்-Leprince-Ringuet.
21. ரோச்செஸ்டர்-Rochester.
22. பட்லர்-Butler.

(அ)பொருண்மையைப்போல் கிட்டத்தட்ட தொள்ளாயிரம் மடங்கு உள்ளது.

துகள்களின் மாறுந்தன்மை :

அட்டவணை-I (c)இல் மேற்கூறப்பெற்ற எல்லா அடிப் படைத் துகள்களும், முறையே அவற்றின் பண்புகளும் அடங் கிய பட்டியல் தரப்பெற்றுள்ளது. பகுதிப்பொருள்களாகப் பிரிக்கப்பெறக் கூடிய வேதியியல் அணுக்களினின்றும் வேறு படுத்தி அறிவதற்காகவே, நாம் அவற்றை 'அடிப்படைத் துகள்கள்' (Elementary particles) என வழங்குகின்றோம்: இதனால் அவை இன்னும் மிகச் சிறிய துகள்களாலானவை அல்ல என்று பொருள்படுகின்றது. ஆனால், இஃது எந்த முறையிலும் அந்த அடிப்படைத் துகள்கள் மாற்றம் அடை யக் கூடாதவை என்பதைக் குறிப்பிடவில்லை. இதற்கு மாறாக, மாற்றம் அடையக்கூடிய தன்மைதான் அடிப்படைத் துகள்களின் சிறப்பியல்பாகும். ஒரு ஃபோட்டான் ஓர் எலக்ட்ரானாகவும் பாசிட்ரானாகவும் மாறுதல் அடையக்கூடும்; இதற்கு மாறாக ஓர் எலக்ட்ரானினின்றும் ஒரு பாசிட்ரானி னின்றும் ஒரு ஃபோட்டான் தோன்றுதலும் கூடும். ஆனால், ஒரு ஃபோட்டான் ஓர் எலக்ட்ரானும் ஒரு பாசிட்ரானும் சேர்ந்த சேர்க்கை என்று கூறுவது தவறாகும்; அல்லது அவ்வாறு கூறுவது சிறிதும் உகந்ததன்று. ஏனெனில், இதன் மாறுதலை யாக ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு நிலையிலிருந்து பிறிதொரு நிலைக்குத் தாவுங்கால், ஒரு ஃபோட்டான் ஓர் எலக்ட்ரானின் விளைவுப் பொருளாக இருத்தல் கூடும். அன்றியும், ஒரு புரோட்டான் ஒரு நியூட்ரானாகவும் ஒரு பாசிட்ரானாகவும் மாறுதல் கூடும்; அவ்வாறே ஒரு நியூட்ரான் ஒரு புரோட்டானாகவும் ஓர் எலக்ட்ரானாகவும் மாற்றம் அடைதல் கூடும். ஆனால், நாம் ஒரு புரோட்டான் ஒரு நியூட்ரானாலும் ஒரு பாசிட்ரானாலும் ஆனது என்று கூறுதல் ஒண்ணாது. இவை யாவும் உண்மை யான அடிப்படைத் துகள்களே; மாறுபடுந்தன்மை அவற்றின் சிறப்பியல்புகளில் ஒன்றாகக் காணப்பெறுகின்றது.

வழிகாட்டிகளாக உள்ள பண்புகள் :

இந்த அடிப்படைத் துகள்களைப்பற்றிய நம் ஆராய்ச்சியில், அணுக்கருக்களின் உண்மையான அடிப்படைத் துகள்கள் எவை என்பதற்கும், வேறு விதத்தில் எவை பங்கு பெறுகின்றன என்பதற்கும் வழிகாட்டிகளாக இருக்கக்கூடிய பண்புகளை நாம் கவனித்து நோக்க வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு துகள் அணுக்கருவிலிருந்து கிளம்புகின்றது என்ற மெய்ம்மையினால் அத் துகள் அந்த அணுக்கருவின் இறுதியான, அடிப்படைப் பகுதிப் பொருள் என்று சான்றாகக் கொள்ள முடியாது. அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பைப்பற்றிய எளிய ஆராய்ச்சினாலேயே, இது சான்றாக அமைகின்றது. அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பு எலக்ட்ரான்களாலானது. எனினும், சில சமயம் அதிலிருந்து வேறு துகள்களும்—அஃதாவது ஃபோட்டான்களும்—கிளம்புகின்றன. ஆனால், அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பில் குறிப்பிட்ட மாற்றங்கள் நிகழும் பொழுதுதான் இவை தோன்றுவதால், இவை அந்த அமைப்பின் முழுமையானப் பகுதிப்பொருள்கள் என்று குறிப்பிட்டுக் காட்டப்பெறுவதில்லை. எனவே, அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பிலுள்ள துகள்களுக்கும்—இவற்றைத்தான் நாம் அதனுடைய உண்மையான பகுதிப்பொருள் எனக்குறிப்பிடுகின்றோம்—அதனுள் சிலசமயம் நிலைமாற்றங்களின் காரணமாக உண்டாகி உடனே வெளிவரும் துகள்களுக்கும் உள்ள வேறுபாட்டைக் நாம் காண்கின்றோம். அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பைப் பொறுத்தமட்டிலும் முன்னவை எலக்ட்ரான்களாகும்: பின்னவை ஃபோட்டான்களாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில், நாம் அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பில் ஏற்கெனவே ஃபோட்டான்கள் இருந்தன என்று கூடக் கூறலாம். ஏனெனில், எலக்ட்ரான் கூடுகளுக்குகிடையிலுள்ள இடம் வெறுமையாக இருந்தபோதிலும் (சிறிதுகூட எந்தவித சங்கடமுமின்றி விரைவான துகள்கள் அதனைத் துளைத்துச் செல்லக்கூடும்), அஃது ஏதோ ஒன்றினை—மின்புலத்தைக்—கொண்டுள்ளது; ஓர் ஒப்புடைமையைக் (Analogy) கையாண்டால்,

இது சாந்து (Mortar) போலிருந்துகொண்டு அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பாகிய துகள்களை உட்கருவுடன் பிணைக்கின்றது என்று கூறலாம். அலைக்கூறில் கூறினால், வெளிவிடப்பெறும் ஒளி ஒரு மின்-காந்த அலையாகும்; இந்த அலையின் ஆற்றல் இந்தப் புலத்தின் ஆற்றலிலிருந்து எடுத்துக்கொள்ளப்பெறுகின்றது. அடிப்படையில், இந்தப் புலத்தை நாம் ஒருவகைப் பொருள் என்று வழங்குவதா, அன்றி வெளிப்பரப்பின் பண்பு என்று கூறுவதா என்பது ஒரு துறைச் சொற்றொகுதிப் (Terminology) பிரச்சினையாக உள்ளது; இந்த முறையில் அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பில் ஏற்கெனவே ஃபோட்டான்கள் ஒரு புலமாக அமைந்துள்ளன என்று கூறலாம். என்ற போதிலும், இந்த வேறுபாடு அடிப்படை முக்கியத்துவத்தைக் கொள்ள முடியாது போயினும், அணுக்கருவின் உண்மையான அடிப்படைக் கூறுகளுக்கும் அவற்றை ஒன்றாகப் பிணைத்துக் கொண்டிருக்கும் புலத்திற்குமுள்ள வேற்றுமையைக் காண்பதற்குத் துணையாக இருக்கும். எந்த முறையிலும், அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பைப்பொறுத்தவரையில், எலக்ட்ரான்களை அணுக்கருவின் அடிப்படைத் துகள்களாகக் குறிப்பிடலாம் என்பதற்கும், அப்புலம் சில சமயம் ஃபோட்டான்களை உண்டாக்கும் திறனையுடையது என்று கொள்வதற்கும் ஒரு நல்ல காரணம் உள்ளது. இந்த இரண்டுவிதத் துகள்களுக்கிடையே அடியிற்கண்ட வேறுபாட்டைக் காணலாம்: அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பை வெளித் தலையீட்டிற்கு எப்பொது உட்படுத்தினாலும்—எடுத்துக்காட்டாக, எலக்ட்ரான்களாலோ அன்றி ஃபோட்டான்களாலோ அதனைத் தாக்குறச் செய்தல்—நேரிடும் விளைவு இதுதான்: அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பிலுள்ள ஒரு கோள்நிலை எலக்ட்ரான் (Planetary electron) நீக்கப்பெற்று அணுவிற்கு வெளியே சுழற்றி எறியப்பெறுகின்றது; அல்லது அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பே கிளர்ந்த நிலைக்கு வந்து ஒரு ஃபோட்டானை மட்டிலும் வெளியிட்டு முன்னைய நிலையினையே அடைகின்றது. ஆனால் தலையீடு நேரிட்ட அந்தக் கணத்திலேயே எலக்ட்ரான் வெளிவிடப்பெற்றபோதிலும், ஃபோட்டான் உண்டாகி

வெளிவிடப்பெறும் நிலை உடனே ஏற்படுவதில்லை; முதலில் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு கால எல்லை கடந்தேயாக வேண்டும். இந்தக் கால நீட்டம் தனி நிலையில் மிகவும் குறுகியதே; ஆனால் ஒரு கோள்நிலை எலக்ட்ரான் அணுக்கருவினை ஒரு முழுச்சுற்று சுற்றி வருவதற்குத் தேவையான காலத்துடன் ஒப்பிடுமிடத்து, இது மிக நீண்டதாக உள்ளது. இடைநிலையில் உண்டான துகள்களினின்றும் உண்மையான அடிப்படைத் துகள்களை வேறுபடுத்தி அறிவதற்கு இதனை ஒரு சிறப்பியல்பாகக் கொள்ளலாம்.

அணுக்கருவின் அடிப்படைத் துகள்கள் :

இந்தக் கருத்தினை அடிப்படையாகக் கொண்ட அணுக்கருவின் அடிப்படைத் துகள்களாகக் கருதப்பெறக்கூடிய துகள்களை இனி பரிசீலனை செய்வோம். ஆல்பாத் துகள்களைக் கொண்டோ, அன்றி பிற அடிப்படைத் துகள்களைக் கொண்டோ தாக்குதல் நிகழ்த்தும் முறையில் அணுக்கருவினையும் வெளித்தலையீட்டிற்கு உட்படுத்தலாம். ஏற்கெனவே நாம் கூறியதுபோல, அணுக்கரு இயக்கம் நடைபெற்று ஒரு புரோட்டான் அல்லது ஒரு நியூட்ரான் சுழற்றி எறியப் பெறுகின்றது. ஆல்பாத் துகள்கள் எறியப்பெறக்கூடிய சந்தர்ப்பங்களும் உள்ளன. ஆனால், ஆல்பாத்துகள்கள் உண்மையான அடிப்படைத் துகள்கள் அல்ல என்பது ஒருதலை. ஒரு புரோட்டான் அல்லது ஒரு நியூட்ரான்—ஓர் அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பிலுள்ள கோள் நிலை எலக்டரானைப் போல்—வெளியே எறியப்பெறுதல் தலையீடு நேரிட்ட கணத்திலேயே சாதாரணமாக நிகழ்கின்றது. ஆனால், அத்தகைய அணுக்கரு இயக்கத்தில் நிலையற்ற, கதிரியக்கமுள்ள அணுவொன்று உண்டாக்கப்பெறலாம்; அஃது ஒரு கதிரியக்கச் செயலினால் மேலும் மாற்றம் அடைகின்றது. இந்த நிகழ்ச்சிகளில் எலக்ட்ரான்கள் அல்லது பாசிட்ரான்கள்மட்டிலுமோ, அல்லது நியூட்ரினோக்கள் சேர்ந்தோ வெளிவிடப்பெறுகின்றன. இயற்கையில் கிடைக்கும் கதிரியக்கப் பொருள்களைப்போலவே,

இந்தக் கதிரியக்க அணுக்களும் ஒரு திட்டமான ஏற்புச் சிதைந்தழிதலையோ அல்லது சராசரி வாழ்வையோ கொண்டுள்ளன; இது தனிப்பட்ட பொருளுக்கேற்ப வேறுபடுகின்றது. அணுவின்புறத்தமைப்பினின்றும் ஃபோட்டான்கள் வெளிப்படுங்கால் நிகழ்வது போலவே, ஓர் எலக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரான் அல்லது ஒரு நியூட்ரினோவுடன் சேர்ந்து வெளிப்படுவதற்குமுன் ஒரு நீண்ட அல்லது குறுகிய காலம் கழிந்து செல்லவேண்டும். ஆயினும், வெளித்தலையீடு ஒரு காமாக்கதிர் ஃபோட்டானை வெளிப்படுத்தும் சந்தர்ப்பங்களும் உள்ளன. பொதுவாகப் பேசுமிடத்து, அணுக்கரு அசைவுகளில் அளந்தால் கால இடைவெளி நீண்டிருக்கும்; ஆனல், அது தனிப்பட்ட (Absolute)அளவில் மிகமிகக் குறுகியிருக்கும்; அதனை வேறு எடுகோளிலிருந்து (Data) முடிவு கொள்ள வேண்டுமேயன்றி, நேர் முறையில் அளத்தல் முடியாது. எனினும், சிலசமயம் தலையீடு நேரிடும் அதே கணத்திலேயே ஒரு காமாக்கதிர் ஃபோட்டான் வெளிப்படுவதும் உண்டு.

மேற்குறிப்பிட்ட முடிவுகளிலிருந்து (Findings) புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் அணுக்கருவின் உண்மையான அடிப்படைத் துகள்களாகக் கருதப்பெறலாம். இந்த முடிவு பிரௌட்டின் பழைய கருதுகோளுக்கு மிக நெருங்கியுள்ளது; ஒரு நியூட்ரானின் பொருண்மை ஒரு புரோட்டானின் பொருண்மையினின்றும் சிறிதும் வேறுபடுவதில்லை.

அணுக்கரு—புறத்தமைப்பு ஒப்பீடு :

இதுகாறும் ஆராய்ந்த கருத்துக்கள் அடியிற்கண்ட அட்டவணையில் காட்டப்பெறுகின்றன. ஒருவகையில் அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பில் கண்ட நிலைகளும், மற்றொரு வகையில் அணுக்கருவிலுள்ள நிலைகளும் ஒப்பிட்டு விளக்கப்பெறுகின்றன.

	அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பு	அணுக்கரு	
அடிப்படைத் துகள்கள்	எலக்ட்ரான் கள்	நியூட்ரான்கள் புரோட்டான்கள்	
விசைப் புலம்	மின் புலம்	மின் புலம்	அணுக்கருப் புலம்
நிலைமாற்றங்கள் நேருங்கால் வெளி விடப்பெறும் துகள்கள்	ஃபோட்டான் கள்	ஃபோட் டான்கள்	எலக்ட் ரான்கள்; பாசிட்ரான் கள்; நியூட்ரி னோக்கள்.

கிடைவசமாக உள்ள இந்த முதல் வரிசை அடிப்படைத் துகள்களைக் கொண்டுள்ளன; இரண்டாவது வரிசை அவற்றி னிடையே இயக்கத்திலுள்ள புலத்தைக் காட்டுகின்றது; சில சமயம் நேரிடும் நிலைமாற்றங்களில் வெளிப்படும் துகள்களை மூன்றுவது வரிசையில் காணலாம்.

அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல் :

இன்னும் நாம் அணுக்கருவின் இந்த அடிப்படைத் துகள் களை ஒன்றுகப் பிணைத்துக்கொண்டிருக்கும் விசையின் இயல் பைப்பற்றி ஆராய்தல்வேண்டும். அணுக்கருவின் புறத்தமைப் பிலுள்ளது போலவே, இந்தப் புலமும் மின்புலமாக இருக்கும் என்று கொள்வது காரணகாரிய முறைக்கு உகந்ததுபோல் காணப்பெறும். ஆயினும், மின்விசைகள்மட்டிலும் அணுக் கரு அண்மைப்பிணைவின் (Nuclear cohesion) விளக்கத்திற்குப் போதா என்று காட்டுதல் எளிது, ஏனெனில், புரோட்டான் கள் சுமந்து செல்லும் மின்னூட்டங்களின் காரணமாகவே தீவிரமான மின்விசை விளைவுகள் உள்ளன; இவை எதிர்ப்பு விசைகள் (Forces of repulsion) ஆகும். ஆகவே, அணுக் கருவில் மேலும் வேருெரு வகைப் புலம் ஒன்று செயற்பட

வேண்டும். இந்தப் புலத்தின் இயல்பைப்பற்றிய சரியான அறிவுக் குறைவின் காரணமாக, முதலில் இதற்கு ஒரு பெயரிடுவோம்; அதனை 'அணுக்கருப் புலம்' (Nuclear field) என வழங்குவோம். என்றாலும், அஃதுடன் அணுக்கருக்களில் ஒரு மின்புலமும் அமைந்துள்ளது; புரோட்டான்கள் மின்னூட்டங்களைச் சுமந்து கொண்டிருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும்.

அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பில் நேரிடும் நிலைமாற்றங்கள் மின்புலத்திலுள்ள ஆற்றலிலிருந்து உண்டாக்கப்பெறும் துகள்களின் உற்பத்தியால்—ஃபோட்டான்களால்—தொடரப் பெறுகின்றன. அணுக்கருவினை ஆராயுங்கால், அதன் இரண்டு புலங்களிலுள்ள ஆற்றலிலிருந்து நிலைமாற்றங்களுடன் சேர்ந்து உண்டாகி வெளிவரும் துகள்களை ஒப்பிட்டுக்காணல் வேண்டும்; அவை சில சமயம்—கிளர்ந்த நிலைகளில்—தாமாகவே கழற்றிக்கொண்டு வெளிவிடப்பெறுகின்றன. மேலும், ஃபோட்டான்கள் மட்டிலுமே மின்புலத்துடன் ஒத்திருக்கக் கூடும்; உண்மையில், அணுக்கரு மாற்றங்களில் காமாக்கதிர் ஃபோட்டான்கள் அடிக்கடி வெளிவிடப்பெறுகின்றன என்பது ஏற்கெனவே ஆராயப்பெற்றுள்ளது; இந்த ஃபோட்டான்கள் மிகச் சிறிய அலைநீளத்தைக் கொண்டுள்ளன. ஆகவே, அணுக்கரு மாற்றங்களில் வெளிவிடப்பெற்ற பிற துகள்களுடன்—அஃதாவது, எலக்ட்ரான்கள், பாசிட்ரான்கள், நியூட்ரினோக்கள் ஆகியவற்றுடன்—அணுக்கருப்புலத்தைப் பொருத்திப்பார்கக வேண்டும் என்பது வெளிப்படை. அணுவின் புறத்தமைப்பிற்கும் அதன் உட்கருவிற்கும் உள்ள இந்த ஒப்பீடு (Analogy) நமக்கு உட்கருவினைப்பற்றிய எளிய தெளிவான விளக்கத்தைத் தருகின்றது.

ஓர் அணுக்கரு புரோட்டான்களாலும் நியூட்ரான்களாலும் ஆக்கப்பெற்றுள்ளது. முதலாவதாக, அதன் அடிப்படைத் துகள்கள் புரோட்டான்கள் சுமந்து கொண்டிருக்கும் மின்னூட்டங்களின் விளைவாக உண்டாகும் ஒரு மின்புலத்தினூடே ஒன்றோடொன்று மோதிக்கொள்ளுகின்றன; இரண்

டாவதாக, அவை ஓர் உட்கருப்புலத்தின் மூலம் இன்னும் கண்டறியப்பெருத ஒரு முறையில் உட்கருவின் உட்புற அண்மைப்பிணைவிற்கு (Internal cohesion) உறுதியாக அமை கின்றன. காமாக்கதிர் ஃபோட்டான்கள் வெளிப்படுவதற்கு மின்புலம் காரணமாக உள்ளது; எலக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான்களும் நியூட்ரினேக்களும் வெளிப்படுவதற்கு அணுக் கருப்புலம் காரணமாகவுள்ளது.

அணுக்கருப் புலத்திற்கும் அதனுடன் இங்கு உறவு கொண்டுள்ள துகள்களுக்கும் உள்ள தொடர்பு, மின்புலத் திற்கும் ஃபோட்டான்களுக்கும் இடையேயுள்ள தொடர் பைப்போல் அவ்வளவு எளிதாக உள்ளதா என்பதில் ஐயப் பாடுதான் உள்ளது. இந்த உறவுமுறை மிகச் சிக்கலானது என்பது போக போகத் தெரியவரும். ஆனல், பொதுவாகப் பேசுமிடத்து, மேற்குறிப்பிட்ட ஒப்பீட்டை மேற்கொள்வது உகந்ததே.

எனவே, அணுக்கருவினைப்பற்றி ஓரளவு தெளிவான கருத்தினைப் பெற்றுவிட்டோம். மிக்க ஆற்றல் வாய்ந்த மிக உயர்ந்த நுண்-பெருக்கியொன்று நாம் மேலே விவரித்தவாறு அணுக்கருக்கள் அமைந்துள்ளன என்பதாகக்—அஃதாவது, அவை புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் பகுதிப் பொருள்களாகக் கொண்டுள்ளன என்று—காட்டும் என்று அதற்கு விளக்கம் தரலாம். ஆகவே, ஒவ்வொரு அணுக்கரு வினையும் மிக எளிதானமுறையில் அதன் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையையும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும் கொண்டே இனங்கண்டு கொள்ள முடியும்.

அணுக்கருவின் பொருண்மை :

ஓர் அணுக்கருவின் பொருண்மை அதனுடைய புரோட் டான்களின் பொருண்மையும் நியூட்ரான்களின் பொருண் மையும் சேர்ந்த கூட்டுத்தொகைக்குச் சரியாக இருக்கின்றது

(இது மிகச் சரியாக இருக்கின்றது என்று சொல்லமுடியாது); இரண்டு துகள்களும் கிட்டத்தட்ட ஒரு பொருண்மை அலகினைப் பொருண்மையாகக் கொண்டுள்ளன. ஆயினும், புரோட்டான்களிடம் மட்டுமே மின்னூட்டம் உள்ளது; ஒவ்வொன்றும் ஓர் அடிப்படை மின்னூட்டத்தைப் பெற்றுள்ளது.

அணுக்கருவினைப்பற்றிய இந்த எளிய விளக்கத்திலிருந்து பொதுவாக ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னூட்டத்துடன் (அணு-எண்) வேறுபட்ட உட்கருப் பொருண்மை-எண்கள் தாமாவே தொடர்பு கொண்டிருத்தல் கூடும் என்றாகின்றது. அஃதாவது ஒரே வேதியியல் தனிமம் பல்வேறுபட்ட அணுக்கருக்களைக் கொண்டுள்ளது; வேறுபட்ட இந்த அணுக்கருக்கள் அத்தனிமத்தின் ஐசோடோப்புக்கள் (Isotopes) என்று வழங்கப்பெறுகின்றன.

அணுக்கருவின் பொருண்மை-எண் அதனுடைய புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கையை உணர்த்துகின்றது; அனால், அணு-எண் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையைமட்டிலுமே காட்டுகின்றது. ஆகவே, நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை என்பது பொருண்மை-எண்ணுக்கும் அணு-எண்ணுக்கும் உள்ள வேற்றுமையே. அணுவின் இன்றியமையாத சிறப்பியல்புகளாகிய இந்த இரண்டு எண்களும் ஏற்கெனவே தனிமத்தின் வேதியியற் குறியீட்டின் மேலெண்ணாகவும் கீழெண்ணாகவும் குறிப்பிடப்பெற்றுள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக, நைட்ரஜனின் குறியீடு $_{7}N^{14}$; இதிலிருந்து நைட்ரஜனின் அணுக்கருவில் 7 புரோட்டான்களும் $14 - 7 = 7$ நியூட்ரான்களும் அடங்கியுள்ளன என்பதை அறிகின்றோம்.

அணுக்கருவினைப்பற்றிய மேலும் சில தகவல்கள்: எ-டு ஹைட்ரஜன் :

இன்னும், மிக எளிதாகவுள்ள அணுக்கருக்களைச் சற்று நுணுகி ஆராய்வோம். நியூட்ரான் என்பது, சாதாரண

மாகத் தனிமங்களைத் தொகுத்துக் கூறுவதில் கணக்கிற் கெடுத்துக்கொள்ளப் பெறுவதில்லை. ஆகவே, ஒரு தனிமத்தின் எளிய அணுக்கரு என்பது புரோட்டானே. புரோட்டான் என்பது, ஒரு ஹைட்ரஜனின் அணுக்கருவாகும். அதன் குறியீடு $_1H^1$ என்பது; அது புரோட்டானையும், 1 — 1 = 0 நியூட்ரானையும் கொண்டுள்ளது என்பதை உணர்த்துகின்றது. கீழ்க்கண்ட அட்டவணை எளிய அணுக்களின் விளக்கத்தைக் காட்டுகின்றது; கரும்புள்ளிகள் புரோட்டான்களையும், வட்டங்கள் நியூட்ரான்களையும் உணர்த்துகின்றன. எனவே, ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு ($_1H^1$) எளிய முறையில் ஒரு கரும் புள்ளியால் குறிப்பிடப்பெறுகின்றது. ஆனால்,

Hydrogen			Helium			
$_1H^1$	$_1D^2$	$_1T^3$	$_2He^3$	$_2He^4$	$_2He^5$	$_2He^6$
Proton 99·98%	Deuteron 0·02%	Triton $-\beta$(31 years)	$\sim 10^{-5}$ %	100%	$\alpha(\sim 10^{-20}$ sec.)	$-\beta$(0·8 sec.)

1932-இல் யூரி[23] என்பார் வேறோர் அணுக்கருவினை—ஹைட்ரஜனின் பளுவான ஐசோடோப்பினைக்—கண்டறிந்தார்; அதில் ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானும் அடங்கியுள்ளன. இந்த ஐசோடோப்பு இயற்கை ஹைட்ரஜனுடன் 0.02. சதவிகிதம் வரையிலும் கலந்து கிடைக்கின்றது. இந்த வகை ஹைட்ரஜன் ட்யூடெரியம் (Deuterium) என்றும், அதன் அணுக்கரு ட்யூடெரான் (Deuteron) என்றும் வழங்கப்பெறுகின்றன. அது சில கூறுகளில் சாதாரண ஹைட்ரஜனினின்றும் வேறுபடுவதால், அது D என்ற குறியீட்டால் (இன்னும் சரியாகக் குறிப்பிட்டால், $_1D^2$ என்ற குறியீட்டால்) குறிப்பிடப்பெறுகின்றது. அதை $_1H^2$ என்ற குறியீட்டாலும்

23. யூரி-Urey.

எழுதிக் காட்டலாம். இதுதான் 'பளுவான ஹைட்ரஜன்' (Heavy hydrogen) என்று வழங்குவது. பின்னர் மூன்றாவது வகை ஹைட்ரஜன் கண்டறியப்பெற்றது; அதன் அணுக்கருவில் ஒரு புரோட்டானும் 2 நியூட்ரான்களும் அடங்கியுள்ளன. அது ட்ரைட்டியம் (Tritium) என்று வழங்கப்பெறுகின்றது; அதன் அணுக்கரு ட்ரைட்டான் (Triton) என்று குறிப்பிடப்பெறுகின்றது. அதன் குறியீடு $_1T^3$ அல்லது $_1H^3$ என்பது. இந்த அணுக்கரு நிலையானதன்று; அது நீண்ட அரை-வாழ்வு கொண்ட (கிட்டத்தட்ட 31 யாண்டுகள்) கதிரியக்கமுள்ள பொருள்; அஃது எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடும் இயல்புடையது. ஆகவே, ட்ரைட்டியம் இயற்கையில் கிடைப்பதில்லை; ஆனால், அஃது அணுக்கருமாற்றச் செயல்களில் உண்டாகும் விளைபொருளாகும்.

ஹீலிய அணுக்கரு :

அடுத்த எளிய தனிமம் ஹீலியம் (Helium) என்பது; அதன் அணுக்கரு இரண்டு புரோட்டான்களைக் கொண்டது. ஹீலியமும் பல்வேறு ஐசோடோப்பு வடிவங்களில் கிடைக்கின்றது. ஒவ்வொன்றும் தன்னுடைய அணுக்கருவில் வெவ்வேறு எண்ணிக்கையைக்கொண்ட நியூட்ரான்களையுடையது. மிக இலேசாகவுள்ள ஹீலிய அணுக்கருவில் 2 புரோட்டான்களும், 1 நியூட்ரானும் உள்ளன. ஆகவே, அதன் குறியீடு $_2He^3$. இஃது இயற்கை ஹீலியத்துடன் மிகச் சிறிய அளவுகளில் கிடைத்த போதிலும், கதிரியக்கமுள்ள ட்ரைட்டானின் ($_2T^3$) மாற்றத்திலிருந்து கிடைக்கும் பொருளாகவே நமக்குத் தெரிந்தது [24]. அடுத்த அணுக்கரு சாதாரண ஹீலியத்தினுடையது; அதில் 2 புரோட்டான்களும் 2 நியூட்ரான்களும் உள்ளன. அதன் குறியீடு $_2He^4$ என்பது ஏற்கெனவே நாம் அறிந்ததே. இஃது ஒரு நிலையான அமைப்பு என்றே சொல்ல

---

24. இந்த ஹீலியத்தின் அணுக்கருவும் ஹீலியத்தின் பிற ஐசோடோப்புக்களின் அணுக்கருக்களும் மேலே காட்டியுள்ள அட்டவணையில் குறிப்பிடப்பெற்றுள்ளன.

லாம். மேலும், வேறு இரண்டு ஹீலிய அணுக்கருக்கள் உள்ளன; அவை இரண்டும் நிலைத்தவை அன்று. அவை முறையே 3 நியூட்ரான்களையும் 4 நியூட்ரான்களையும் கொண்டவை. ஆகவே, அவை $_2He^5$ என்ற குறியீட்டாலும், $_2He^6$ என்ற குறியீட்டாலும் எழுதிக் காட்டப்பெறுகின்றன. அவை வாயுநிலையிலுள்ள இயற்கை ஹீலியத்துடன் காணப்பெறுவதில்லை.

எளிதான குறியீட்டு அமைப்பு:

மேலும், புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் தொடர்ந்து சேர்த்துக்கொண்டே போனால், மிகவும் சிக்கலான அமைப்பைக் கொண்ட அணுக்கருக்களை அடைகின்றோம். இன்று நிலைபெற்றுள்ள எல்லா அணுக்கருக்களையும் கொண்டு ஒரு கருத்துப்படம் (Chart) உண்டாக்கலாம். அவற்றின் அணு-எண்களை—அஃதாவது, அவற்றின் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையை—Z என்ற குறியீட்டால் குறித்து மட்டாயத்திலும் (Abscissa), நியூட்ரான்களை N என்ற குறியீட்டால் குறித்து குத்தாயத்திலும் (Ordinate) பதிவு செய்யலாம். எனினும், வேறொரு முறையைக் கையாண்டால் அச்சிடுவோருக்கு மிகவும் வசதியாக இருக்கும்; இம்முறையில் மட்டாயத்தில் Z என்பது புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கைகளையும், குத்தாயத்தில் N—Z என்பது புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கைக்கு மேல் அதிகமாக உள்ள நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கைகளையும் குறிக்கின்றன. இம்முறைதான் அட்டவணை—IV (a) யிலும் அட்டவணை—IV (b) யிலும் (நூலின் இறுதியில் காண்க) மேற்கொள்ளப்பெற்றுள்ளது. தனிப்பட்ட தனிமங்களின் ஒழுங்கு ஆவர்த்த அமைப்பின் (Periodic system) ஒழுங்குடன் ஒத்து வருகின்றது, அட்டவணைகளில், அணுக்கருக்கள் அவற்றின் நிலைத்த தன்மையாலோ, அன்றி கதிரியக்கச் சிறப்பியல்புகளாலோ வேறுபடுத்தி அறியப்பெறுகின்றன. நிலைத்த தன்மையுள்ள அணுக்கருக்கள் கறுப்புநிறப் புள்ளிகளால் குறிப்பிடப்பெற்றுள்ளன. அவற்றுள் ஒன்று $_2He^4$ என்ற அணுக்கரு; Z= 2

ஆகவும் N—Z = 0ஆகவும் இருக்கும் இடத்தில் அது காணப் பெறுகின்றது. முக்கோணங்கள் பீட்டாக்கதிர்களை வெளி விடும் அணுக்கருக்களை உணர்த்துகின்றன. முக்கோணத்தின் உச்சி மேல்நோக்கி யிருந்தால், அஃது எலக்ட்ரான்களைவெளி விடும் அணுக்கருக்களை உணர்த்தும்; உச்சி கீழ்நோக்கியிருக் கும் முக்கோணம் பாசிட்ரான்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக் களை உணர்த்தும். எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக் கள் எப்பொழுதும் எல்லாவற்றுக்கும் மேலுள்ள வரிசையில் காணப்படுகின்றன: எ-டு. $_2He^6$ அல்லது $_3Li^8$; பாசிட்ரான்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்கள் பெரும்பாலானவை எல்லாவற் றுக்கும் கீழுள்ள வரிசையில் காணப்படுகின்றன: எ-டு, $_6C^{11}$. ஆல்பாத்துகள்களை வெளிவிடும் கதிரியக்க அணுக்கருக்கள் சிறிய சதுரங்களால் குறிப்பிடப்பெற்றுள்ளன. இறுதியாக, நிலையற்ற அணுக்கருக்களும் உள்ளன; இவை மிக உட்புற மாகவுள்ள அணுக்கருவின் புறத்தமைப்புக் கூட்டிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானைச் சிறைப்படுத்திக் கொண்டு தம்முடைய அணுக் கரு மின்னூட்ட எண்ணில் ஓர் அலகு குறைத்துக் கொள்ளு கின்றன. நமது அட்டவணைகளில், இத்தகைய அணுக்கருக் கள் சிறிய வட்டங்களால் காட்டப்பெற்றுள்ளன. எலக்ட் ரான்களையும் புரோட்டான்களையும் சேர்ந்தாற்போல் வெளி விடும் அணுக்கருக்கள் ஒன்றன்மேல் ஒன்றாக, ஒரு விண்மீன் போல் பொருத்தப்பெற்றுள்ள இரண்டு முக்கோணங்களால் குறிப்பிடப்பெற்றுள்ளன. இவ்வாறு நம்முடைய அட்ட வணைகள் நடைமுறையிலுள்ள எல்லா அணுக்கருக்கள், அவற்றின் அமைப்புகள், அவற்றின் பண்புகள் ஆகியவற்றை எளிய முறையில் சேர்ந்தாற்போல் உணர்த்துகின்றன.

நியூட்ரான்களின் அதிகரிப்பு:

சிலவகை அணுக்களில்மட்டிலும் நியூட்ரான்களின் அதி கரிப்பு அஃதாவது N—Z, எதிர் அளவாக (Negative)[25] இருப்

25. இதற்குக் காரணம், சில அணுக்கருக்களில் புரோட் டான்களின் எண்ணிக்கை (Z), நியூட்ரான்களின் எண்ணிக் கையை (N) விட அதிகமாக இருப்பதேயாகும்.

பதைக் காண்கின்றோம்; மீதியுள்ளவற்றிலெல்லாம் நேர் அளவில் (Positive) உள்ளது; அஃது எப்பொழுதும் மிகப் பெரிய அளவில் இருப்பதில்லை. இலேசான தனிமங்களின் அணுக்கருக்கள் நடைமுறையில் இறுதிவரையிலும் அவை கொண்டுள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையை யொத்த நியூட்ரான்களையே கொண்டுள்ளன; பளுவான தனிமங்களில் மட்டிலும் நியூட்ரான்களின் அதிகரிப்பு ஏறக்குறைய அதிகமாகவே உள்ளது.

மேலும் பல வினாக்கள் :

இதுகாறும் நாம் பொதுமுறையில் தனிப்பட்ட அணுக்கருக்களின் அமைப்பினை விவரமாக எடுத்துரைத்தோம்; இந்த ஆராய்ச்சி மேலும் பல வினாக்களை எழுப்புகின்றன: புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் அடங்கியுள்ள அணுக்கருவினைப் பிணைத்துக் கொண்டிருப்பது எது? இத்துகள்களை ஒன்றாகப் பிணைக்கும் விசைகளின் (Forces) இயல்பு என்ன? இலேசான அணுக்கருக்கள் கிட்டதட்ட ஒரே எண்ணிக்கை புரோட்டான்களையும் எலக்ட்ரான்களையும் கொண்டிருப்பதற்கும், பளுவான அணுக்கருக்கள் ஓரளவு சிறிது நியூட்ரான்களின் அதிகரிப்பைக் காட்டுவதற்கும்—அஃதாவது, அணுக்கருவில் மின்னூட்ட அளவுகளின் எண்ணிக்கையின் அதிகரிப்பிற்கேற்றவாறு நியூட்ரான்களின் அதிகரிப்பின் அளவு மிகுதியாவதற்கும்—காரணம் என்ன? ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கை (Limited number) அளவு மட்டிலும் அணுக்கருக்கள் இருப்பதேன்? இவற்றுள் பல கதிரியக்கமுள்ளவையாக இருப்பதற்குக் காரணம் என்ன? அவற்றால் வெளிவிடப்பெறும் என்று நாம் உற்று நோக்கும் அதே துகள்களையே அவ் அணுக்கருக்கள் ஏன் வெளிவிடுகின்றன? பின் வரும் சொற்பொழிவுகளில் இந்தப் பிரச்சினைகளை ஆராய்வோம்.

4. அணுக்கருக்களின் இயல்பான நிலைகள்

(i) அணுக்கருக்களின் பிணைப்பாற்றல் :

சில அடிப்படையான விதிகள் :

சென்ற சொற்பொழிவின் இறுதியில் குறிப்பிட்ட வினுக் களில் அணுக்கருவில் அடங்கியுள்ள துகள்களிடையே செயற் படும் விசைகளைப்பற்றியும், அவை அத்துகள்களை எவ்வாறு பிணைத்து நிற்கின்றன என்பதுபற்றியும் முதலில் ஆராய் வோம். அணுவின் எந்த பௌதிக அளவு அல்லது எந்தப் பண்பு அதன் நிலையான தன்மையை அறுதியிடுகின்றது? என்ற வினாவினை எழுப்பிக்கொண்டு இதனைத் தொடங்கலாம். முதலில், எவரும் இந்த வினா மிகவும் கடினமானதொன்று எனவும் எண்ணக்கூடும்; அதற்கு விடை காணவேண்டு மாயின், அணுக்கருவால் உணர்த்தக்கூடிய பொறி நுட்பத் திட்டத்தையும் அதன் முழு விவரங்களுடன் ஓரளவு நன்கு அறிந்திருத்தல் வேண்டும்எனவும் எண்ணக்கூடும். எனினும், நிலைமை அவ்வாறு இல்லை. ஒரு திட்டத்தினுள் இயங்கிவரும் விசைகளின் இயல்பைப்பற்றியும், அவற்றின் அமைப்பின் விவரங்களைப்பற்றியும் நமக்கு ஒன்றும் தெரியாவிடினும், ஒரு சில அடிப்படையான விதிகள் உள்ளன; அவை அந்தத் திட் டத்தின் நிலையான தன்மையைப்பற்றியும் அதன் பொதுப் பண்புகள்பற்றியும் ஆராய்வதற்கு நமக்குத் துணையாக உள் ளன. அவை பொருண்மை அழியாவிதி (Law of conservation of mass), ஆற்றல் அழியாவிதி (Law of conservation o

energy) முதலியவை ஆகும். இவ்விதிகளின்படி இப்பொருள்கள் வெறுமையிலிருந்து படைக்கப்பெறல் முடியாது; அல்லது அழிக்கப்பெறவும் முடியாது. இங்கு முதன்மை நிலையில் முக்கியத்துவம் பெறும் விதிகள் மூன்று உள்ளன. அவை: ஆற்றல் அழியாவிதி, மின்னூட்டம் அழியாவிதி (Law of conservation electric of chargc), கோணத் திருப்பு திறன் அழியாவிதி (Law of conservation of angular momentum) என்பவை.

பிணைப்பாற்றலின் விளக்கம் :

ஆற்றல் அழியாவிதியின் துணைகொண்டு நமது ஆராய்ச்சியைத் தொடங்குவோம். அணுக்கருவிலுள்ள ஒரு துகளை அகற்றுவதற்குச் சில விசைகளைப் பயன்படுத்துவது சாத்தியம் என்று கொள்வோம் (ஓர் அணுக்கருவில் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் அடங்கியுள்ளன என்பதை நாம் அறிவோம்.) இன்னும், இந்தத் துகளைப் பிடித்து அதனை அணுக்கருவிற்கு அப்பாலுள்ள ஓர் இடத்திற்கு அகற்றிச் செல்லவும் கூடும் என்று கொள்கையளவில் கருதலாம். அந்தத் துகள் முதலில் அணுக்கருவுடன் இறுகப் பிணைந்திருந்தால், அஃது அணுக்கருவால் நன்கு கவரப்பெற்றுள்ளது. ஆகவே, அதனை அகற்றுவதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு 'வேலை'[1] அல்லது வினை (Work) தேவை; அஃதாவது அணுக்கரு அமைப்பினுள் ஆற்றல் செலுத்தப்பெற்ருக வேண்டும். துகளை அகற்றுவதற்கு மேற்கொண்ட இந்த வினை, அஃதாவது வருவித்த ஆற்றல், ஆற்றல் விதிகளின்படி, மேற்படி துகளை அகற்றுவதில் கையாண்ட முறையினின்றும் தனித்து இயங்கலல்லது. ஆகவே, ஒவ்வொரு துகளும் அணுக்கருவினுள் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றலால் பிணைக்கப்பெற்றுள்ளது என்பது பெறப்படுகின்றதன்றே? துகளினை அகற்றுவதற்கு முன்பும்,

---

1. ஆற்றலைச் செலுத்தி ஒரு பயனை அடைவதைப் பௌதிக இயலார் வேலை அல்லது வினை என்று குறிப்பிடுவர்.

அதனை அகற்றிய பின்பும் அணுக்கரு அமைப்பிலுள்ள ஆற்ற லின் அளவை ஏதாவது ஒரு முறையில் அறுதியிடக் கூடு மாஞல், துகளினைப் பிணைத்துள்ள ஆற்றலின் அளவைக் கணக்கிடலாம். இனி, ஓர் அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல் (Binding energy) என்ன என்பதை வரையறைப்படுத்த முயலுவோம். அணுக்கருவின் பகுதிப்பொருட்கூறுகள் ஒன்று சேர்ந்து—இவை ஒன்றற்கொன்று மிகச் சேய்மையிலி ருப்பவை—அணுக்கருவாக அமையுங்கால், அதிலுள்ள ஆற்ற லில் மாற்றம் நிகழ்கின்றது. இந்த மாற்றத்தையே அணுக் கருவின் 'பிணைப்பாற்றல்' என்று வழங்குகின்றனர். இச் செயலின் எதிர்மாருன நிலையில்—அஃதாவது, அணுக்கரு வினைச் சிதைத்தலில்—ஆற்றல் செலவழிகின்றது, அஃதா வது, வெளியிலிருந்து அணுக்கருவிற்கு ஆற்றல் செலுத்தப் பெறல் வேண்டும்; அணுக்கரு அமையுங்கால் அஃது ஆற்றலை வெளிவிட வேண்டும். எனவே, அணுக்கருவின் பிணைப்பாற் றல் வரையறைப்படி, எப்பொழுதும் எதிர் அளவாகவே (Negative) இருக்கும். ஆகவே, அணுக்கரு எவ்வளவுக்கெவ் வளவு நிலைத்த தன்மையுடன் இருக்கின்றதோ அவ்வளவுக் கவ்வளவு அதனை அதன் பகுதிப்பொருட் கூறுகளாகப் (Constituent parts) பிரித்தல் கடினமாகும். இதற்குத் தேவை யான வினையின் அளவும் (அஃதாவது ஆற்றலின் அளவு) மிகவும் அதிகரிக்கும். ஆகவே, பிணைப்பாற்றலின் தனி அள வைப் (Absolute magnitude) பொறுத்து (இஃது எதிர்அளவில் உள்ளது) அணுக்கருவின் நிலைப்புத்தன்மையும் மிகும்; இதையே, சரியான கணித முறைப்படி உணர்த்திஞல் பிணைப்பாற்றல் குறையக் குறைய அணுக்கருவின் நிலைப்பும் அதிகரிக்கும் என்று கூறலாம். இக்காரணத்தால்தான் ஓர் அணுக்கருவின் ஆற்றல் குறைவு அல்லது மிகுதியைக் குறிப் பிடுமிடத்து, பொதுவாக நாம் அதன் தனி அளவினையே குறிப்பிடுகின்றோம். இந்த முறையில் நோக்கிஞல், பிணைப் பாற்றலின் மிகுதிக்கேற்ப அதன் நிலைப்புத் தன்மையும் மிகும் என்பது தெரிகின்றது.

கணக்கிடுவதில் சங்கடம் :

இன்னும் அணுக்கருவின் அமைப்புபற்றிய விவரங்கள் நமக்குச் சரியாகத் தெரியாமையினால், அணுக்கருவின் பண்புகளிலிருந்து பிணைப்பாற்றலைக் கணக்கிடமுடியாத நிலையில் இருக்கின்றோம். ஆகவே, இதன் மறுதலையாக, நாம் வேறு முறைகளை மேற்கொண்டு பிணைப்பாற்றல்களின் அளவுகளை அறுதியிட முயல வேண்டும்; அணுக்கருவின் பண்புகளைப் பற்றிய முடிவுக்கு வருவதற்கு இந்த அளவுகளைப் பயன்படுத்தவும் வேண்டும்.

கணக்கிடும் முறை :

ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட துகள்களைக் கொண்ட மிகவும் எளிய அணுக்கரு ட்யூடெரான் (Deuteron) என்பது; இது பொருண்மை-எண் 2ஐக் கொண்ட ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவாகும் (Hydrogen nucleus); இதில் ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானும் உள்ளன. இந்த இரண்டு பகுதிப்பொருட்கூறுகளிலிருந்து அத்தகைய அணுக்கரு ஒன்று உண்டாகும் பொழுது, அந்த அணுக்கருவினைச் சிதைப்பதற்கு எவ்வளவு ஆற்றல் தேவைப்படுகின்றதோ அதே அளவு ஆற்றல் வெளிப்பட்டாகவும் வேண்டும். எனவே, ஒன்றற்கொன்று தொலைவிலுள்ளதும் தம்மிடையே ஒன்றற்கொன்று யாதொரு விசையையும் செலுத்தாததுமான புரோட்டானும் நியூட்ரானும் அமைதிநிலையிலிருக்கும்பொழுது நமது கணக்கீட்டைத் தொடங்குகின்றோம். இந்நிலையில், இவ்விரண்டு துகள்களைக் கொண்டதோர் அமைப்பிலுள்ள ஆற்றலை 0 என்று கொள்வோம்[2]. இந்த இரண்டு துகள்களும் ஒரு ட்யூடெரானைக்ப்

---

2. ஓர் அமைப்பின் நிலையாற்றலை (Potential energy) O என்று எடுத்துக்கொள்ளலாம்; O-ஐத்தான் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும் என்பதற்குக் காரணம் ஒன்றுமில்லை. சௌகர்யத்தை முன்னிட்டுதான் இங்ஙனம் எடுத்துக் கொள்ளப்பெறுகின்றது.

பிணைந்தவுடன் அந்த அமைப்பின் ஆற்றலிலிருந்து பிணைப்பாற்றலின் தனி அளவுக்குச் சமமான ஆற்றல் குறைந்து போகின்றது. ஏதாவது ஒரு வழியில் ஒரு ட்யூடெரானின் முழு ஆற்றலின் அளவை நம்மால் அளந்தறியக் கூடுமானுல், அதன் பகுதிப்பொருள் கூறுகள் (Constituent parts) பிணைவதற்கு முன்பும் அவை பிணைந்த பின்பும் உள்ள ஆற்றல்களின் வேற்றுமையிலிருந்து அதன் பிணைப்பாற்றலின் அளவை அறுதிடல் கூடும்; அணுக்கருவின் நிலைப்புத்தன்மையைப்பற்றி ஒரு முடிவுக்கு வருவதற்கும் இதனை அடிப்படையாகப் பயன்படுத்தவும் செய்யலாம்.

இம்முறையைப் பின்பற்றியே மேலும் செல்வோம். இந்த அமைப்பில் இன்ெறொரு புரோட்டானைச் சேர்ப்போம். இதனுல் ஹீலிய அணுக்கருவின் ($_2He^3$) பிணைப்பாற்றலை அடைகின்ருேம். இம்மாதிரியே, படிப்படியாக, ஒவ்வோர் அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றலின் அளவையும் தொடர்ந்து அறுதியிட்டுக் கொள்ளலாம்.

ஆற்றல் அளவுகள் :

பௌதிக அறிஞர் ஆற்றலை 'எர்க்[3]' (Erg) என்ற அளவால் அளப்பது வழக்கம்; பொறியியல் வல்லுநர் அதை 'இராத்தலடி' (Foot pound) அல்லது கிலோவாட் அவர் என்ற அளவால் அளந்து காண்பர். பௌதிக அறிஞர் வெப்ப ஆற்றல்களை அளப்பதற்குக் 'கேலரி'[4] (Calorie) என்ற அளவினை மேற்கொள்ளுகின்ருர். இங்ஙனமே பௌதிக இயலின் பல பகுதிகளிலும், தொழிற்றுறை அறிவியலின் பல பகுதிகளிலும்

---

3. ஒரு கிராம் அளவு பொருளின் 980-இல் ஒரு பங்கினை ஒரு சென்டிமீட்டர் உயரம் தூக்குவதற்கு வேண்டிய ஆற்றலே எர்க் என்பது.

4. ஒரு கிராம் அளவு நீரை வெப்பமானியின் (Thermometer) ஒரு சுழியளவு சூடேற்ற எவ்வளவு வெப்பம் வேண்டுமோ அந்த அளவு வெப்பமே கேலரி எனப்படும்.

அவ்வவற்றிற்கேற்ற அளவைகள் பயன்படுகின்றன. அவை அவ்வப் பகுதிகளில் பயின்றுவரக்கூடிய ஆற்றல்களின் அளவுகளுக்கேற்ப இருப்பதாலும், அவை மிகப்பெரியனவாகவோ சிறியனவாகவோ இராமல் கையாளுவதற்கேற்றவாறு இருப்பதாலும் அவை அவ்வத்துறைகளில் மேற்கொள்ளப்பெறுகின்றன. இதே விதி அணுபௌதிகத் துறைக்கும் பொருந்துகின்றது. அணு பௌதிக அறிஞர்கள் எலக்ட்ரானின் பிணைப்பாற்றல்களை அளப்பதற்கு அதிக வோல்ட்டு அளவுகளால் வேகமாக முடுக்கப்பெற்ற மின்னூட்டம்பெற்றதுகள்களைப்—எலக்ட்ரான்களைப்—பயன்படுத்துகின்றனர். ஆகவே, இங்குப் பயன்படும் ஆற்றலின் அளவு ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு வோல்ட் மின்-அழுத்த வேறுபாட்டில் செல்லுங்கால் பெறும்ஆற்றலின் அளவாகும். (பொதுவாக ஏதாவது ஒரு துகள் ஓர் அடிப்படை குவாண்டம் மின்னூட்டம் பெற்றிருப்பதுதான் இந்த ஆற்றலில் அளவாகும்). இந்த ஆற்றல் அளவினை 'எலக்ட்ரான் வோல்ட்' (Electron-volt) என்று வழங்குவர்; இதனை ev என்ற குறியீட்டால் குறிப்பது வழக்கம். இஃது அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பை ஆராயுமிடத்து கையாளுவதற்கேற்ற வசதியான அலகாக உள்ளது; அஃது இந்த அமைப்பின் பிணைப்பாற்றல்களின் அளவுகளையொட்டி இருப்பதே இதற்குக் காரணமாகும். ஆனல், அணுக்கருவிலுள்ள துகள்களின் பிணைப்பாற்றல் இதைவிடக் கிட்டத்தட்ட பத்து இலட்சம் மடங்கு (ஒரு மில்லியன்) பெரிதாகும். ஆகவே, அணுக்கரு பௌதிகத்தில் இந்த அளவின் பத்து இலட்சம் (Million) மடங்கு அளவினைக் கையாளுவதே வழக்கிலிருந்து வருகின்றது. பத்து இலட்சம் ev = 1Mev. ஒருMev என்பது ஒரு துகள் ஓர் அடிப்படை குவாண்டம் மின்சாரத்தைத் தாங்கிக் கொண்டு பத்து இலட்சம் வோல்ட்டு மின்-அழுத்த வேற்றுமையினிடையே செல்லுங்கால் பெறும் ஆற்றலின் அளவாகும். எனினும், ஓர் எர்க்குடன் (Erg) ஒப்பிடுங்கால், இது மிகவும் சிறிய அளவே. அஃதாவது,

$$1 \text{ Mev} = 1.6 \times 10^{6} \text{ எர்க்}$$

ஆற்றலை அளத்தல் :

ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானும் ஒன்று சேர்ந்து ஒரு ட்யூடெரான் உண்டாகுங்கால் வெளிவிடும் ஆற்றல் எவ்வளவு என்பதைக் கூறினோம். உண்மையில், இந்த நிகழ்ச்சியை உண்டாக்கி அதில் வெளிவரும் ஆற்றலை நாம் அளக்க முடியும். நியூட்ரான்களை உண்டாக்க வல்ல மூலம் இதற்குத் தேவை. நவீன செய்முறை பௌதிகத்தில் இத்தகைய மூலங்களை எளிதில் அடையலாம். நியூட்ரான்கள் உண்டாக்கப் பெறுங்கால் அவை மிக அதிகமான நேர்வேகத்தில் இயங்கும் என்பதை நாம் அறிவோம். அவற்றின் வேகத்தைத் தணித்து, கிட்டத்தட்ட அவற்றை இயங்காநிலைக்குக் கொண்டு வருதல் வேண்டும். அப்பொழுதுதான் அவை இயங்காநிலையிலுள்ள ஹைட்ரஜன் அணுக்களுடன் இணைய முடியும். எனவே, நாம் நியூட்ரான்களை ஹைட்ரஜன் உள்ள ஏதாவது ஒரு பொருளின் ஊடே பாயும்படி செய்கின்றோம். இதனால் நியூட்ரான்கள் மிகப்பல ஹைட்ரஜன் அணுக்களுடன் மோதுகின்றன; அவ்வாறுநேரிடும் மோதுதல்களின் (Collisions) விளைவாக அவை படிப்படியாக, இயக்க ஆற்றலின் பெரும் பகுதியை இழக்கின்றன. சிறிதளவு இயக்க ஆற்றல் இழக்கப்பெறுமல் நின்று போகின்றது; இந்த அளவு குறிப்பிட்ட அந்தப் பொருளின் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்தது. இறுதியாக, அவை வெப்ப நேர்வேகம் எனப்படும் வேகத்துடன் முடிவு நிலையை எய்துகின்றன. இந்நிலையில் அவை புரோட்டான்களுடன் இணையும்படி செய்யப்பெறுகின்றன.

இந்தச் செயலில் ட்யூடெரானின் பிணைப்பாற்றல் விடுவிக்கப்பெறுகின்றது. ஆற்றல் அழியாவிதிக்கிணங்க இவ்வாற்றல் எங்காவது நிலைபெற்றிருத்தல் வேண்டும்; அஃதாவது, அவ்வாற்றல் ஏதாவது ஒரு வடிவத்தில் எங்காவது சென்றாக வேண்டும். காரணகாரியமுறைப்படிக் கருதினால், அது மின்-காந்தக் கதிர்வீசல் வடிவத்தில் வெளியேறுகின்றது என்று கொள்ளலாம்; அஃதாவது, மிகக் குறைந்த அலை-நீளத்தையுடைய காமாக் கதிர்வீசலாகப் போகின்றது.

ஆகவே, ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானும் சேர்ந்து ஒரு ட்யூடெரான் உண்டாகுங்கால் பேராற்றலைக் கொண்ட காமாக் கதிர் ஃபோட்டான் வெளிவருவதை எதிர்பார்க்க வேண்டும். இந்த ஃபோட்டானின் ஆற்றல் E-உம், அதன் அலைவெண் ν-உம் கொண்டுள்ள உறவு பிளாங்கின் $E=h\nu$ என்ற வாய்பாட்டால் அறுதியிடப்பெறுகின்றது. இங்கு E என்பது ஃபோட்டானின் ஆற்றல்; ν என்பது அதன் அலை வெண்; h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி[5] (Plank's constant). எனவே, இந்த E என்ற ஆற்றல் ட்யூடெரானின் பிணைப் பாற்றலின் அளவுக்கு முழுதும் ஒத்துள்ளது. சோதனையின் மூலம் இந்தக் காமாக் கதிர்வீசலை நடைமுறையில் காணு தல் கூடும். அலை எண் ν என்பதையும் எப்படி அளப்பது என்பதை நாம் அறிவோமாதலின், ஒரு ட்யூடெரானின் பிணைப்பாற்றலை அளந்து காணல் சாத்தியப்படக்கூடியதே; அதன் அளவு 2.3 Mev க்குச் சமமாகின்றது. இந்த ஆற்றல் ஒரு ஃபோட்டானுகப் போவதைவிடப் பல ஃபோட்டான் களாக வீசப்பெறலாம் என்று எவரும் கருதுதல் கூடும். எனி னும், அவ்வாறு நிகழ்வது உண்மையில் நடைபெறக்கூடாதது என்றும், ஒரே ஒரு ஃபோட்டானுகப் பிரிதலே நேரிடக்கூடிய தென்றும் எளிதில் மெய்ப்பித்து விடலாம்.

வேருெரு எளியமுறை :

• அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றலைப்பற்றி அறிந்துகொள்வ தற்கு மேற்கூறிய முறையைவிட எளிதான வேருெரு முறை யும் உண்டு. ஐன்ஸ்டைனின் சார்புக் கொள்கைப்படி (Theory of relativity) ஒரு பொருளின் பொருண்மைக்கும் அதன் முழு ஆற்றல் அளவிற்கும் ஓர் எளிய உறவு முறை உண்டு. சார்புக் கொள்கை கண்டறியப்பெறுவதற்கு முன்

---

5. h என்பது மிகச் சிறிய எண்; அதன் அளவு 6.624×10^{-27} என்று கணக்கிடப்பெற்றுள்ளது. ν என் பதை 'நியு' என்று ஒலிக்க வேண்டும். அது கிரேக்க நெடுங் கணக்கில் ஓர் எழுத்து.

ளர்க்கூட, ஒரு தனிப்பட்ட வடிவத்தில், இவ்வகை ஓர் உறவு முறை அறியப்பெற்றிருந்தது; அஃது இயங்கும் பொருள் களின் தன்மைகளைக் கூறும் மின்-இயக்கவியலிலிருந்து (Electro-dynamics) தோன்றியதாகும். ஏற்கெனவே, ஹேஸன்ஆஹ்ரல்[6] என்பார் ஒரு சிறு குகையில் (Cavity) அடக்கப்பெற்றுள்ள கதிர்வீசல் m என்ற மந்தமான (Inert) பொருண்மையை உடையது என்றும், அஃது அந்த அமைப் பிலுள்ள ஆற்றலுடன் தகவுப்பொருத்த முடையதென்றும் குறிப்பிட்டிருந்தார்; அன்றியும், அவர் m என்ற இந்தப் பொருண்மை E/c^2 என்ற அளவுடன் தகவுப் பொருத்த முடையது என்றும் கணக்கிட்டிருந்தார்; இங்கு c என்பது ஒளியின் நேர்வேகம் (Velocity). ஆனால், அவர் விகிதசம மாறிலிக் காரணியைக் (Proportionality factor) கணக்கிடத் தவறி விட்டார். ஆற்றலுக்கும் பொருண்மைக்கும் உள்ள உறவு முறை சார்புக் கொள்கையால் தெளிவாக்கப்பெற்றது; பெறவே, இவ்விதி அனைத்துலக இயற்கைப் பொதுவிதி (Universal natural law) என்ற நிலையினை அடைந்தது (இது தீர்ப்பான கட்டம்); இவ்விதி கதிர்வீசல்கொள்கைக்கேயன்றி எல்லாப் பௌதிகப் பகுதிகட்கும் பொருந்துவதாயிற்று. அஃதாவது, அடியிற்காணும் உறவு முறை அனைத்துலகப் பொதுவானது:

$$m = E/c^2$$

மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாட்டின் பொருள் இதுவாகும்: E என்ற முழு ஆற்றலைக் கொண்டதோர் அமைப்பு m என்ற பொருண்மையைப் பெற்றிருக்கும்; இந்தப் பொருண்மை முழு ஆற்றலுடன் ஒரே அளவாக அமைந்திருக்கும்; இந்தப் பொருண்மையின் அளவு E/c^2 என்பதாகும். இம்முடிவு விநோதமான விளைவுகளையுடையது. எடுத்துக்காட்டாக ஒரு கடிகாரத்திற்குச் சாவி கொடுத்தால், அஃது அதன் எடை யில் ஒரு சிறிது அதிகப்படல்வேண்டும்; காரணம், அதன் வில்

6. ஹேஸன்ஆஹ்ரல் Hasenohrl.

வில் (Spring) ஆற்றல் தேக்கப்பெறுகின்றது. ஆனால், இதில் தேங்கின ஆற்றலின் அளவு மிகவும் குறைவு; ஆகவே, இதனை மெய்ப்பித்துக் காட்ட இயலாது. கடிகாரத்தின் பொருண்மையுடன் ஒப்பிட்டு நோக்குமிடத்து E/c^2 என்ற பொருண்மையின் அளவு மிகக் குறைவாகும்.

ஆனால், ஆற்றலுக்கும் பொருண்மைக்கும் உள்ள இந்த உறவு முறையை அணுக்கரு பௌதிகத்தில் செய்முறைப் பயனுக்கலாம் (Practical use). அணுக்கருப் பொருண்மைகளுடன் ஒப்பிடுமிடத்து, அவற்றில் தேங்கிக் கிடக்கும் ஆற்றல் கணிசமான அளவுடையதாகும். இந்த உறவு முறையை $E = mc^2$ என்ற சமன்பாடாக அமைத்துக் கொண்டு ஓர் அமைப்பின் m என்ற பொருண்மையிலிருந்து E என்ற ஆற்றலைக் கணக்கிட முடிகின்றது. ஒளியின் நேர் வேகம் நாம் அறிந்தது; அது கிட்டத்தட்ட விநாடிக்கு 300,000 கிலோ மீட்டர் ஆகும்; அஃதாவது, விநாடிக்கு 3×10^{10} சென்டி மீட்டர் ஆகும். மேற்கூறிய கடிகாரத்திற்குச் சாவி தரும் எடுத்துக்காட்டிலிருந்து பெறும் ஆற்றல்களின் அளவுகள் அணுக்கருக்களின் ஆற்றல் அளவுகளுக்கு முற்றிலும் வேறுபாடானவை. அணுக்கருக்களின் பிணைப்பாற்றல்கள் மிகக் குறைவு என்பது உண்மைதான்; அங்ஙனமே அவற்றின் பொருண்மைகளும் மிகக் குறைவே. எனவே, $m = E/c^2$ என்ற சமன்பாட்டில் m என்ற பொருண்மையின் அளவு, அணுக்கருப் பொருண்மைகளை நோக்க, தள்ளுபடி செய்யக்கூடிய அளவுக்கு மிகச் சிறியதன்று ஆகவே, ஆற்றல் அளவின் மாற்றத்திற்கேற்ப அணுக்கருவில் நிகழக்கூடிய ஏதாவது மாற்றத்தைச் சரியான அளவில் அளந்து காணல் கூடும். மேற்கூறிய வாய்பாட்டை அணுக்கருக்களில் பிரயோகம் செய்தால், அது காட்டும் முக்கிய உறவு முறையை உறுதிப்படுத்துகின்றது.

அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல் :

ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானும் சேர்ந்து ஒருட்யூட்ரான் (Deuteron) உண்டாகும்பொழுது ஆற்றல் விடுவிக்கப்பெறுவதால், ஒருட்யூடெரானின் பொருண்மை, தனிநிலையிலுள்ள ஒரு புரோட்டானின் பொருண்மையும் ஒரு நியூட்ரானின் பொருண்மையும் சேர்ந்த அளவுக்குக் குறைவாகவே இருக்க வேண்டும். இந்த உண்மை N நியூட்ரான்களையும் Z புரோட்டான்களையுங்கொண்ட ஒவ்வொரு அணுக்கருவிற்கும் பொருந்தும். இதனை ஒரு சமன்பாட்டு வடிவில் அடியிற்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்:

$$\underset{\text{அணுக்கரு}}{M} = \underset{\text{நியூட்ரான்}}{Nm} + \underset{\text{புரோட்டான்}}{Zm} - \frac{|E|}{C^2}$$

இதில் $|E|$ [7] என்பது நேர் அளவில் உணர்த்தும் அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல்; இஃது ட்யூடெரானில் ஒரு ஃபோட்டானாக விடுவிக்கப்பெறுகின்றது.

மேற்காட்டிய சமன்பாட்டைச் சிறிது மாற்றிய வடிவில் அணுக்கருவில் பயன்படுத்துவதை அணுக்கருவும் அதன் புறத்தமைப்பும் கொண்ட சமநிலையிலுள்ள முழு அணுவிலேயே பயன்படுத்தினால் சௌகர்யமாக இருக்கும். இவ்வாறு பயன்படுத்தும்பொழுது, ஓர் எலக்ட்ரானுடன் பொருண்மை-எண் 1ஐக் கொண்ட ஹைட்ரஜன் அணுவை புரோட்டானுக்குப் பதிலாகப் பிரதியிடல்வேண்டும். இவ்வாறு செய்தால், சமன்பாட்டின் இருபக்கங்களிலும் அணு முழுவதிலுமுள்ள Z எலக்ட்ரான்களின் பொருண்மை சேர்கின்றது. எனவே, சமன்பாட்டின் இடப்புறத்தில் அணுக்கருவின் பொருண்மை அணுவின் பொருண்மையாக மாறுகின்றது; வலப்புறத்தில் Z புரோட்டான்களின் பொருண்மையும் Z எலக்ட்ரான்களின்

---

7. $|E|$ என்பதைக் கணித நூலார் Modulus E என்று கூறுவர். Eக்கு முன்னர் +, — என்ற குறிகளை இடாத மதிப்பு என்பது இதன் பொருள்.

பொருண்மையும் சேர்ந்து Z ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மைக்குச் சமமாகின்றது. அதனால் சமன்பாடு அடியிற்கண்டவாறு அமைகின்றது:

$$\underset{\text{அணு}}{M} = \underset{\text{நியூட்ரான்}}{Nm} + \underset{\text{H அணு}}{Zm} - \frac{|E|}{C^2}$$

நாம் எடுத்துக் கொண்ட அணுவின் பொருண்மையும், நியூட்ரானின் பொருண்மையும், ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மையும் சரியாகத் தெரிந்தால், இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து ஓர் அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றலைக் கணக்கிடலாம்.

அணுக்கருவின் 'பொருண்மைக் குறை :

ஆகவே, எப்பொழுதும் ஓர் அணுவின் பொருண்மை அதன் பகுதிப் பொருள் கூறுகளின் பொருண்மைகளின் கூட்டுத் தொகையைவிட $|E|/C^2$ அளவு குறைந்தே இருக்கும். பொருண்மையில் காணப்பெறும் இந்த வேற்றுமையே அணுக்கருவின் 'பொருண்மைக் குறை' (Mass defect) என்று வழங்கப்பெறுகின்றது. அதன் அளவு $|E|/C^2$ க்குச் சமமாகும். எனவே,

$$\text{பொருண்மைக் குறை} = \frac{|E|}{C^2} = \underset{\text{நியூட்ரான்}}{Nm} + \underset{\text{H அணு}}{Zm} - \underset{\text{அணு}}{M}$$

'பொருண்மைக்குறை' அளவுகள் :

அணுப்பொருண்மைகளைத் தரமான அணுப்பொருண்மை அலகுகளில் (அ. பொ. அ.) குறிப்பிடுவது வழக்கம்; அது கிட்டத்தட்ட ஒரு ஹைட்ரஜன் அணு அல்லது நியூட்ரானின் பொருண்மைக்குச் சமமாகும்: அஃது ஆக்ஸிஜன் ஐசோடோப்பின் ($_8O^{16}$) (Oxygen isotope) பொருண்மையில் சரியாக 1/16 பாகம் ஆகும். பொருண்மைக் குறைகள் கிட்டத்தட்ட 1/1000 அ. பொ. அ. என்ற ஒழுங்கு முறை அளவில் உள்ளன: ஆகவே, அவற்றை 1/1000

அ. பொ. அ. (அ.பொ. அ—^{3})என்று குறிப்பிடுதல் வழக்கம்; 1 அ. பொ. அ. —^{3} இன் சரியான ஆற்றல் அஃதாவது 1 அ. பொ. அ— ^{3} × c^2, 1 Mev என்ற ஆற்றல் அலகிலிருந்து மிகச் சிறிதளவுதான் வேறுபடுகின்றது. சரியாகச் சொன்ஞல், 1 அ. பொ. அ —^{3} என்பது 0.93 Mevக்குச் சமமாகும்.

எனவே, அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல்களும் 1 Mev என்ற ஒழுங்கு முறை அளவில் உள்ளன.

பொருண்மை நிறமாலை வரைவான்:

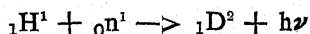
இவ்வாறு பௌதிக அறிஞர் ஒன்றற்கொன்று தொடர்பில்லாத வெவ்வேறு இரண்டு முறைகளால் பிணைப்பாற்றல்களைத் தீர்மானிக்கின்றனர்: அவர் அவற்றை நேராகவும் அளந்து காணலாம்; அல்லது பொருண்மைக் குறைகளிலிருந்தும் கணக்கிட்டு அறியலாம். பின்னைய முறையை மேற்கொண்டு அணுக்களின் பொருண்மைகளிலிருந்து பிணைப்பாற்றலைப் பகுத்தறிந்து கணக்கிட வேண்டுமாயின், அணுக்களின் பொருண்மைகளை மிக மிகச் சரியான முறையில் தீர்மானிக்க வேண்டும். காரணம், நாம் ஆயிரத்தில் ஒரு பாகம் (1/1000)போன்ற மிகச் சிறிய அளவுகளில் பொருண்மைகளை மேற்கொள்ளுகின்றோம். சரியான முறையில் தீர்மானித்தால்தான் அவற்றிலிருந்து வருவிக்கப்பெறும் பிணைப்பாற்றலின் அளவும் சரியாக இருக்கும். பொருண்மை நிறமாலை வரைவான் (Mass spectrograph) என்ற ஆய்கருவியைக் (Appratus)கொண்டு பொருண்மைகளைச் சரியாகக்கணக்கிடலாம். இந்தக் கருவியை முதன்முதலாகக் கண்டறிந்தவர் ஆஸ்டன்[8] என்ற அறிஞர். பொருண்மை நிறமாலை வரைவானில் மின்னூட்டம் பெற்ற அணுக்கள் மின்சார, காந்தப்

8. ஆஸ்டன்-Aston. இவர் தாம்சன் என்பவரின் மாணுக்கர். இவருடைய அறிவு நுட்பத்தினைக் கண்ட அறிவியல் உலகம் இவருக்கு நோபல் பரிசினை வழங்கிப் பாராட்டியது.

புலங்களின் வழியாகச் செல்லும்படி செய்யப்பெறுகின்றன. அங்கு அவை ஒதுக்கப்பெறுகின்றன. இவ்வொதுக்கங்களின் அளவு அணுக்களின் மின்னூட்டத்திற்கும் (e) அவற்றின் பொருண்மைக்கும் (m) உரிய விகிதத்தையும் அவற்றின் நேர் வேகத்தையும் பொறுத்திருக்கும் என்பதை நாம் ஏற்கெனவே கண்டறிந்துள்ளோம். ஒரு குறிப்பிட்ட நேர் வேகத்தைக் கொண்ட துகள்கள் மட்டிலும் பிரிந்து செல்லுமாறு பொருண்மை நிறமாலை வரைவான் அமைக்கப்பெற்றுள்ளது; அவை அவ்வாறு செல்லும்பொழுது உற்று நோக்கப்பெறும் பொருள்களாகின்றன. அப்பொது e/m என்ற விகிதம் அறுதியிடப்பெறுகின்றது; துகள்கள்களின் மின்னூட்டம் e-யை நாம் அறிவோமாதலின், அதன் பொருண்மை m-ஐக் கணக்கிட்டுவிடலாம்; அல்லது, இன்னும் சரியாக இருக்க வேண்டுமாயின் துகள்களின் பொருண்மை m-ஐ ஆக்ஸிஜன் ஐசோடோப்பின் ($_8O^{16}$) பொருண்மையுடன் ஒப்பிடலாம்; வரையறைப்படி இதன் பொருண்மை சரியாக 16.000 அ.பொ.அ. பிணைப்பாற்றல்களைக் கணக்கிடுவதற்கு ஹைட்ரஜன் அணுவின் சரியான பொருண்மையும் நியூட்ரானின் சரியான பொருண்மையும் நமக்குத் தெரியவேண்டும். ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மை 1.00813 அ.பொ.அ; நியூட்ரானின் பொருண்மை 1.00895 அ. பொ. அ.

பொருண்மையில் மாற்றம்:

இனி, ஒரு ட்யூடெரிய அணு (Deuterium atom) உண்டாகுங்கால் பொருண்மையில் நேரிடும் மாற்றங்களை அளவறிமுறையில் (Quantitatively) பரிசீலனை செய்வோம். இந்த அணு உண்டாவதற்கு முன்பு, ஒரு தனிப்பட்ட ஹைட்ரஜன் அணுவும் ($_1H^1$), ஒரு தனிப்பட்ட நியூட்ரானும் ($_0n^1$) இருந்தன. அவை இரண்டும் ஒன்று சேர்ந்த பிறகு, ஒரு ட்யூடெரிய அணுவும் ($_1D^2$) விடுதலை நிலையிலுள்ள ஒரு ஃபோட்டானும் ($h\nu$) உள்ளன. இந்த முடிவினை அடியிற்காணும் வாய்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

$$_1H^1 + {}_0n^1 \longrightarrow {}_1D^2 + h\nu$$

ட்யூடெரிய அணுவின் பொருண்மை 2.0147 அ. பொ. அ; ஆனல் ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மையும் நியூட்ரானின்பொருண்மையும் சேர்ந்து 1.00813 + 1.000895= 2.0171 அ. பொ. அ. தான் ஆகின்றது. ட்யூடெரிய அணுவின் பொருண்மை அவற்றின் பகுதிப் பொருள் கூறுகளின் பொருண்மைகளின் கூட்டுத் தொகையைவிட உண்மையில் குறைவாகவே உள்ளது. இதுதான் 'பொருண்மைக் குறை என்பது; இதன் அளவு 0.0024 அ. பொ. அ. (2.4அ. பொ. அ. — 3) ஆகும். ஆனல், ஆற்றல் அளவைகளால் உணர்த்தினுல் இந்தப் பொருண்மைக் குறை கிட்டத்தட்ட 2.2 Mev பிணைப் பாற்றலைக் குறிப்பிடுகின்றது: இந்த ஆற்றல்தான் அணுவிலிருந்து ஒரு ஃபோட்டான் வடிவில் விடுவிக்கப்பெறும் ஆற்றலாகும் என்று முன்னரே குறிப்பிட்டுள்ளோம். எனவே, பிணைப்பாற்றலைக் கணக்கிடுவதில் ஒன்றற்கொன்றுதொடர்பு இல்லாத இரண்டுமுறைகள் உள்ளன என்றும், அந்த இரண்டு முறைகளும் ஒரே விடையைத்தான் தருகின்றன என்றும், ஆகவே பொருண்மையும் ஆற்றலும் ஒன்றற்கொன்று சமமாக உள்ளன என்பதற்கு இவை சிறந்த சான்றுகளாக அமைகின்றன என்றும் அறிகின்றோம். இது மிகவும் சிறப்பானதோர் உண்மையாகும். ஏனெனில், நான் மின்சாரப் புலங்களைத் தொடர்பு படுத்தி இவ்விதியைப் பேசவில்லை. சார்புக் கொள்கை கண்டறியப்பெறுவதற்கு முன்னதாகவே இவ்விதி மின்புலத்திற்குப் பொருந்தும் என்பது யாவரும் அறிந்ததே. ஆனல், முற்றிலும் வேறுபட்ட பிற புலங்களுக்கு இவ்வுண்மை பொருந்தும் என்பது அப்பொழுது கண்டறியப் பெறவில்லை.

அணு-எடைகளைப்பற்றிய ஓர் உண்மை:

சற்று முன்னர் ஆராய்ந்த முடிகவுள் ஏற்கெனவே பிரௌட்[8] என்பார் ஊகித்திருந்தது போலவே, தனிமங்களின் அணு-எடைகள் ஏன் ஓர் அடிப்படை அலகின் முழு மடங்கிகளாக (Integral multiple)இருக்கவில்லை என்பதையும் காட்டுகின்றன. முதலாவதாக, புரோட்டானின் பொருண்மையும்

8. பிரௌட் - Prout

நியூட்ரானின் பொருண்மையும் ஒன்றற்கொன்று சிறிது வேறு படுகின்றன. மேலும், அவை ஒன்று சேருங்கால் இரண்டன் பொருண்மைகளின் கூட்டுத்தொகையில் ஒரு சிறு பகுதி மறைகின்றது; இந்தப் பின்னம் அவற்றின் பிணைப்பாற்றலு டன் ஒத்துள்ளது. ஆகவே, புரோட்டானின் பொருண்மை நியூட்ரானின் பொருண்மைக்குச் சமமாக இருப்பினும், தனி மங்களின் அணு-எடைகள் ஓர் அடிப்படை அலகின் முழு மடங்குகளாக இருப்பதில்லை. இதனால், இலேசான தனிமங் களின் அணு-எடை முழு எண்களாக இராமல் சிறிதளவு வேறுபடுவதற்கு விளக்கம் கிடைக்கின்றது. ஆனால், பளு வான தனிமங்களின் அணு-எடைகள் அதிக அளவு வேறு படுவதை வேறொரு முறையினால் விளக்க வேண்டும். இந்த வேற்றுமைகள் வெறுந்தோற்றங்களேயன்றி முழுதும் உண் மையல்ல; இயற்கையில் கிடைக்கும் தனிமங்கள் அனைத்தும் பெரும்பாலும் பல்வேறு ஐசோடோப்புக்களின் (Isotopes) கலவைகளாக இருப்பதால்தான் இவ்வேற்றுமையைக் காண் கின்றோம். ஒவ்வொரு ஐசோடோப்பும் ஒரு குறிப்பிட்ட வகை உட்கருவைக் கொண்ட அணுக்களால் ஆனது; அதன் பொருண்மை-எண்ணும் கிட்டத்தட்ட ஒரு முழு எண் ணுகவே (Intiger) இருக்கும். ஆனால், ஐசோடோப்புக்களின் கலவையின் சராசரிப் பொருண்மை-எண் ஒரு முழு எண் அன்று.

அணுக்கருவின் நிலைப்புத்தன்மை:

ஆகவே, அணுக்கருவின் நிலைப்பு (Stability)பற்றி நாம் விரும்பிய அளவையை (Criterion) நிறுவி விட்டோம். ஓர் அணுக்கரு ஒருங்கு இறுகப் பிணைந்திருப்பதால், அதை அதன் பகுதிப் பொருள் கூறுகளாகச் சிதைப்பதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வினை தேவைப்படும். இவ்வாறு தேவைப் படும் **வினையின் அளவுதான்** பிணைப்பாற்றலின் அளவாகும்; இப்பிணைப்பாற்றலின் அளவே அணுக்கருவின் 'பொருண்மைக் குறை' ஆகும்; இஃது ஆற்றல் அளவைகளால் குறிக்கப்பெறுகின்றது. சிறி

தளவு கூட வினையின்றி ஓர் அணுக்கருவினைச் சிதைத்தல்கூடும் என்ற நிலை இருக்குமாயின், அணுக்கரு நிலைப்புடன் இருத்தல் முடியாது. ஆகவே, நாம் பிற அழியாவிதிகளையும் (Conservation laws) நம் ஆராய்ச்சிக்கு எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். மின்னூட்டம் அழியாவிதியின்படி ஓர் அமைப்பிலுள்ள மின்னூட்டம் முழுவதையும் மாற்றக்கூடிய அளவுக்கு அணு எவ்வித மாற்றத்தையும் அடைய முடியாது. ஆகவே, அணுக்கருவில் புரோட்டான் நியூட்ரானாக மாறுதலோ, அல்லது நியூட்ரான் புரோட்டானாக மாறுதலோ, சிறிதும் ஈடு செய்யப்பெறாமல் நடைபெறமுடியாது. இல்லையேல், உண்மையில் நிலைப்புடன் இருப்பதாகக் கருதப்பெறும் அணுக்கள் நிலைப்புடன் இல்லை என்றாகிவிடும். எடுத்துக்காட்டாக, போரன் அணுக்கருவின் பொருண்மை-எண் 12 (இது மிகச்சரியன்று): கார்பன் அணுக்கருவின் பொருண்மை-எண்ணும் 12 தான். போரன் அணுக்கருவில் 7 நியூட்ரான்களும் 5 புரோட்டான்களும் உள்ளன; ஆனால், கார்பன் அணுக்கருவில் 6 புரோட்டான்களும் 6 நியூட்ரான்களும்தான் உள்ளன. அவற்றின் குறியீடுகள் முறையே $_{5}B^{12}$, $_{6}C^{12}$ ஆகும். எனினும். போரன் அணுக்கருவின் பொருண்மை, கார்பன் அணுக்கருவின் பொருண்மையை விடச் சிறிதளவு அதிகமாகவுள்ளது. இரண்டற்கும் உள்ளவேற்றுமை 0.013 அ பொ. அ. ஆகும். ஆகவே, இரண்டன் பிணைப்பாற்றல்களிலும் உள்ள வேற்றுமை கிட்டத்தட்ட 12 Mev ஆகும். போரன் அணுக்கருவைவிட கார்பன் அணுக்கரு அதிகப் பொருண்மைக் குறைவைப் பெற்றிருப்பதால், கார்பன் அணுக்கருவின் பகுதிப் பொருட் கூறுகள் போரன் அணுக்கருவின் பகுதிப் பொருட் கூறுகளைவிட மிக அதிகமாக இறுகப் பிணைந்துள்ளன. ஆகவே, போரன் அணுக்கரு நிலைப்புடன் இல்லை என்றும், அது தானாகவே கார்பன் அணுக்கருவாக மாறுகின்றது என்றும் நாம் கொள்ளலாம். இம்மாற்றம் 12 Mev அளவுவரை உள்ள ஆற்றலை விடுவிக்கின்றது ஆனால்,போரன் அணுக்கருவிலிள்ள ஒரு நியூட்ரான் ஒரு புரோட்டானாக மாறும்பொழுதுதான் இச்செயல் நடைபெறுதல்கூடும். எனி

னும், மின்னூட்டம் அழியாவிதியின்படி மேற்கூறிய செயல் நடைபெறுவதற்கு ஒரு முக்கிய நிபந்தனை உண்டு. அஃதாவது, புதியதாகத் தோன்றிய நேர் மின்சாரத்தின் அடிப்படை குவாண்டம் அதே சமயத்தில் தோன்றும் எதிர் மின்சார அடிப்படை குவாண்டத்தினால் ஈடு செய்யப்பெற்று, பின்னது அணுக்கருவினின்றும் அகற்றப்பெறல் வேண்டும். ஒரு நியூட்ரான் புரோட்டானாக மாறுங்கால், அதே சமயத்தில் ஓர் எலக்ட்ரான் வெளிவிடப்பெற்று, இச்செயல் நடைபெறுதல் கூடும். உண்மையில், போரன் அணுக்கரு நிலைப்புள்ள ஓர் அமைப்பு அன்று; அது கதிர்வீசலுடையது. அஃது எலக்ட்ரான்களை வெளிவிட்டு,—அஃதாவது எதிர் மின்னூட்டமுள்ள பீட்டாக் கதிர்களை வெளிவிட்டு— ஒரு கார்பன் அணுக்கருவாக மாறுகின்றது.

நியூட்ரினோ:

ஆயினும், கோணத் திருப்புதிறன் அழியாவிதி இயங்காவிடின் இந்த மாற்றம் நேரிட முடியாது. முன்னர் நாம் குறிப்பிட்டபடி, ஒரு புரோட்டானும் ஒரு நியூட்ரானும் சேர்ந்த தன் கோணத் திருப்புத்திறன்[9] $\hbar/2$ ஆகும்; அதன் வெளி அமைப்பிலுள்ள அச்சின் சுழற்சிக்கேற்றவாறு அது நேர் அளவாகவோ (Positive), எதிர் அளவாகவோ (Negative) இருக்கும். ஆகவே, இரட்டைப்படை எண்ணுள்ள துகள்களைக் கொண்ட அணுக்கருவின் கோணத் திருப்புத் திறன் $\hbar/2$-இன் இரட்டைப்படை எண் மடங்கியாகவே (Even multiple) இருக்கும். கார்பன் அணுக்கருவும் போரன் அணுக்கருவும் 12 துகள்களைச் கொண்டவை; ஆகவே, ஒவ்வொன்றினுடைய அணுக்கருவின் கோணத் திருப்புதிறன் $\hbar$-இன் மடங்கியைக் கொண்ட ஒரு முழு எண்ணாகவே இருத்தல் வேண்டும். ஆனல். மின்னூட்டம் அழியாவிதிக்கிணங்க,மாற்றச் செயல்

---

9. கோணத் திருப்புதிறன், 'தற்சுழற்சி' [Spin) என்றும் வழங்கப்பெறும்.

நடை பெறுங்கால், ஓர் எலக்ட்ரான் வெளிவிடப்பெறுதல் வேண்டும்; இந்த எலக்ட்ரானும் $\hbar/2$ அளவு கோணத்திருப்பு திறனைக் (மின்னியல் தற்சுழற்சியைக்) கொண்டிருக்கும். ஆகவே, எஞ்சிய கார்பன் அணுக்கரு ஒரு கோணத் திருப்பு திறனைத் தன்னிடம் நிலையாக வைத்துக் கொண்டிருக்கும்: அதன் மதிப்பு $\hbar/2$-இன் ஓர் ஒற்றைப்படை எண் மடங்கியாக (Multiple) இருக்கும். இதில் பங்கு கொண்ட கோணத் திருப்புதிறன்கள் ஒன்றற்கொன்று சமமாகச் செய்து கொள்ளா. ஆனால், இந்த இடர்ப்பாடான நிலையில் நாம் ஒன்றை நினைவுகூர்தல் வேண்டும்; இயற்கையான பீட்டாக் கதிர்வீசல்பற்றி ஆராய்ந்தபொழுது இதே மாதிரி ஆற்றல்களைச் சமப்படுத்தும் சங்கடங்களைக் கண்டோம்; அவற்றால் நியூட்ரினோ என்ற ஒரு வகை மின்துகளின் இருப்பிற்கு வழி காட்டியதையும், இந்த நியூட்டிரினோ எலக்ட்ரான் வெளிப்படும்பொழுதே உமிழப்பெறுகின்றது என்பதையும் அறிந்தோம். இந்த நியூட்ரினோதான் கோணத் திருப்பு திறன் அழியாவிதிக்குக் காரணமாகின்றது என்பது வெளிப்படை. போரன் அணுக்கருவினால் வெளிவிடப்பெறும் எலக்ட்ரான்கள் தொடர்ந்தாற் போன்று வரிசையாகவுள்ள ஆற்றல்களை வெளிவிடுகின்றன; எலக்ட்ரானுடன் நியூட்ரினோவும் ஒரே சமயத்தில் வெளிவிடப்பெறுகின்றது என்று கருத இந்த மெய்ம்மை இடந்தருகின்றது. போரன் அணுக்கரு உண்மையாகவே நிலைப்புடன் இல்லை என்பதும், அஃது ஓர் எலக்ட்ரானையும் நியூட்ரானையும் வெளிவிடுவதன்மூலம் கார்பன் அணுக்கருவாக மாறுகின்றது என்பதும் நமக்கு இன்னொரு முடிவினைக் காட்டுகின்றன; அதன்படி நியூட்ரினோ எலக்ட்ரானின் கோணத் திருப்பு திறனை ஈடு செய்யும் நிலையில் அதற்கு $\hbar/2$ என்ற அளவுள்ள கோணத்திருப்பு திறன் உண்டு.

ஒரு பொதுவான முடிவு :

இப்பொழுது நாம் அணுக்கருவின் நிலைப்பினையொட்டி மூன்று அழியாவிதிகளினின்றும் அடையக் கூடிய ஒரு பொது

வான முடிவினைப் பெற்றுள்ளோம். நாம் கண்ட முடிவுகளை இவ்வாறு சுருங்கக் கூறலாம்: ஓர் அணுவின் உட்கரு தானாக மாற்றம் அடையும் செயலில் ஆற்றல் வெளிப்பட்டால் அக்கரு முதலில் பிறிதொரு உட்கருவாக மாறிவிடும்; இரண்டாவதாக, அது மின்னூட்டம் அழியாவிதி, கோணத் திருப்பு திறன் அழியாவிதி ஆகிய விதிகளுக்கு இணங்கியும் இருக்கும். இவ்வாறு தானாக நடைபெறும் மாற்றம் (Spontaneous transformation) நீண்ட கால எல்லையில்தான் நடைபெறும்; அஃதாவது, அங்ஙனம் தானாக நிகழ்வது மிகக் குறைந்த அளவில்தான் இருக்கும். ஆனால், ஈண்டுக் குறிப்பிட்ட இரண்டு நிபந்தனைகளில் ஏதாவது ஒன்று இணங்காவிடினும், நாம் எடுத்துக்கொண்ட உட்கரு நிலைப்புடன் உள்ளது என்றே கொள்ள வேண்டும்.

II அணுக்கருவின் அமைப்பு

அணுக்கருவினுள் இருக்கும் நிலைகளைப்பற்றியோ, அல்லது அதனுள் இயங்கும் விசைகளைப்பற்றியோ யாதொருவித கருதுகோளையும் (Hypothesis) மேற்கொள்ளாது அழியாமை விதிகள் (Conservation laws) பெருவிளைவில் பயன்படக்கூடிய முடிவுகளை அடைவதற்குத் துணைபுரிந்துள்ளன. அணுக்கருவினுள் இருக்கும் விசைகளைப்பற்றிய யாதொரு ஊகமுமின்றிச் சோதனைகளின் மூலம் அணுக்கருவின் உள்ளமைப்பைப் பற்றித் திட்டமான முடிவுகளை வாய்பாட்டு வடிவில் அறுதியிட முயலுவோம். அணுக்கருவினுள் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் எவ்வாறு வினியோகிக்கப்பெற்றுள்ளன? மூலக்கூறுகள் ஒரே தன்மையான செறிவுடன் அமைந்துள்ள ஒரு துளி திரவத்துடன் ஓர் அணுக்கருவை நாம் ஒப்பிடக் கூடுமா? அல்லது, நடுப்பகுதியில் ஒன்றனுக்கு ஒன்று மிக நெருங்கியும் நடுவிடத்திற்கு மிகத் தொலைவிலுமாக இருக்கும் கோள அமைப்பிலுள்ள விண்மீன் கூட்டத்துடன் அணுக்கருவை ஒப்பிடலாமா?

அணுக்கருவின் பிணைப்பு :

இந்தச் சந்தர்ப்பத்தில் பொருண்மைக் குறைவுகள் ஒரு விதத்தில் மிக முக்கியமாகின்றன. அவற்றிலிருந்து நாம் பிணைப்பாற்றலைக் கணக்கிடலாம்; அணுவினுள்ளிருக்கும் தனித்தனித் துகள்களின் ஆற்றல்களைக் கணக்கிட்டால், கிட்டத்தட்ட எல்லா அணுக்களிலும் அவை ஒரே அளவில் இருப்பதையும் காண்கின்ரேம். அலுமினியம் வரையிலுமுள்ள இலேசான அணுக்களின் தனித்த அளவு(Absolute magnitude) மிகக் குறைவாக இருப்பதால், அவை இவ்விதிக்கு விலக்கானவை. ஏனைய அணுக்கள் யாவற்றிலும் அணுக்கருவிலுள்ள ஒவ்வொரு துகளின் பிணைப்பாற்றல் எப்பொழுதும் 6-லிருந்து 9 Mev வரையிலும் உள்ளது. ஆகவே, எல்லா அணுக்கருவின் துகள்களும் ஏறக்குறைய ஒரே அளவு இறுக்கத்துடன் பிணைந்துள்ளன என்று எண்ணவேண்டியுள்ளது.

அணுக்கருவின் குறுக்களவு :

அணுக்கருவின் பருமனிலிருந்து நாம் மேலும் ஒரு முடிவினைப் பெறலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளில் ஆல்பாத் துகளின் எவ்வளவு பகுதி ஒதுக்கம் பெறுகின்றது என்பதை கண்டறிவதன்மூலம் அந்தப் பொருளின் உட்கருவின் விட்டத்தை ஓரளவிற்குக் கணக்கிடலாம். இவ்வாறு ஏற்படும் ஆல்பாத் துகள்களின் ஒதுக்கம் உட்கருவின் வெளிப்பகுதியில் உள்ள மின்புலத்தினுல் ஏற்படுவதன்று; ஆனுல், ஆல்பாத் துகள்கள் அணுக்கருவின்மீது மோதுவதனுல் ஏற்படுவதாகும் அது. அணுக்கரு எவ்வளவுக்கெவ்வளவு பெரிதாகவுள்ளதோ அதற்கேற்றாற்போல் அடிக்கடி நிகழும் இத்தகைய மோதுதல்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகமாகும். இந்தச் சோதனைகளால் 238 துகள்களைக் கொண்ட யுரேனிய அணுக்கருவின் குறுக்களவு 4 துகள்களைக் கொண்ட ஹீலிய அணுக்கருவின் குறுக்களவைப் போல் நான்கு மடங்கு பெரிதாக உள்ளது என்று அறிகின்ரேம். அவற்றின் பருமனளவுகளும்(Volumes) முறையே 1க்கும் 4^3க்கும் உள்ள விகிதத்தில் உள்ளன; அஃதா

வது, ஹீலிய அணுக்கருவின் பருமனளவைப் போல் யுரேனிய அணுக்கருவின் பருமனளவு 64 மடங்கு உள்ளது. ஆயினும், யுரேனிய அணுக்கரு ஹீலிய அணுக்கருவிலுள்ள துகள்களைப் போல் கிட்டத்தட்ட அறுபது மடங்கு துகள்களைத்தான் கொண்டுள்ளது.

அணுக்கருவின் செறிவு:

இந்த இரண்டு மெய்ம்மைகளும்—அஃதாவது தனித் தனித் துகள்களின் கிட்டத்தட்ட சமமான பிணைப்பாற்றல் களும், அணுக்கருவின் பருமனளவிற் கேற்றவாறு துகள்களின் எண்ணிக்கை கிட்டத்தட்ட சரியான விகிதத்திலிருப்பதும்— வேறொரு முடிவினை மெய்ப்பிக்கின்றன. அஃதாவது, அணுக் கரு முழுவதிலும் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் ஏறக் குறைய ஒரே மாதிரியாகக் கலந்துள்ளன என்பதுதான்; ஏனெனில், அவை அவ்வாறின்றேல், தனிப்பட்ட அணுக்கரு வின் பகுதிகளிலும் வெவ்வேறு அணுக்கருக்களின் வகை களிலும் காணப்பெறும் பிணைப்பாற்றல்களில் அதிக வேற் றுமை காணப்பெறும். மேலும், இந்த மெய்ம்மை, பரும னளவிற்கேற்றவாறு துகள்களின் எண்ணிக்கை உள்ளது என்ற மெய்ம்மையுடன் சேர்ந்து, மிக இலேசாகவுள்ள அணுக்களைத் தவிர ஏனைய அணுக்களிலெல்லாம் உட்கருவின் செறிவு வினி யோகம்ஒரேமாதிரியாகவுள்ளது என்பதைஉணர்த்துகின்றது. எனவே, எல்லா அணுக்கருக்களிலும் ஒருபடித்தான உட்கருப் பொருள் (Homogeneous nuclear substance) அடங்கியுள்ளது என்று கூற இடந்தருகின்றது: அஃதாவது, எல்லா அணுக் கருக்களிலும் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் சேர்ந்த கலவை கிட்டத்தட்ட ஒரே மாதிரியான செறிவுடன் அடைக் கப்பெற்றுள்ளது என்று சொல்லலாம். ஆனால், வெவ்வேறு இன அணுக்களில் நியூட்ரான்களுக்கும் புரோட்டான்களுக்கு முள்ள விகிதத்தில் மிகச் சிறிய அளவில் வேற்றுமை உள்ளது.

அணுக்கருவை திரவத்துளியுடன் ஒப்பிடல்:

ஆகவே, நாம் அணுக்கருவினை ஒரு திரவத் துளியுடன் ஒப்பிட்டு மிகச்சரியான அதன் ஒரு மாதிரி உருவத்தை அடைகின்றோம். நீரின் மூலக்கூறுகளிலிருந்து பல்வேறு அளவு நீர்த்துளிகள் உண்டாதல்போலவே, புரோட்டான்களிலிருந்தும் நியூட்ரான்களிலிருந்தும் பல்வேறு பருமனுள்ள அணுக்கருப்பொருளின் துளிகள்—பல்வேறு அணுக்கருக்கள்—உண்டாதல் கூடும். ஓர் அணுக்கருவினுள் காணக்கூடிய அதே பண்புகளையே இந்தத் திரவத்துளிகளின் மாதிரி உருவத்திலும் காணலாம். ஏனெனில், ஒரு துளி முழுவதும் மூலக்கூறுகள் ஒரே மாதிரியாக வினியோகிக்கப்பெற்ற செறிவுடன் அடைக்கப்பெற்றுள்ளன; அந்த மூலக்கூறுகள் யாவும் ஒரே அளவுள்ள ஆற்றலால் பிணைக்கப்பெற்றுள்ளன. அனைத்துலகப் பொதுவான, ஒருபடித்தான, அணுக்கருப்பொருளின் இருப்பைப்பற்றிய நம் அறிவு அணுக்கருவின் அமைப்மைப் புரிந்து கொள்வதற்குத் துணைசெய்கின்றது.

புறப்பரப்பு இழுவிசை:

ஆனால், இந்தத் திரவத்துளி இன்னும் சில நுட்பமான சிறப்புப் பண்புகளையும் பெற்றுள்ளது; இப்பண்புகள் அணுக்கருவிலும் ஒற்றுமையுடையனவாக அமைந்துள்ளனவா என்பதை நாம் ஆராயவேண்டும். உண்மையில், ஒரு திரவத்துளியில், எல்லா மூலக்கூறுகளுமே ஒரே அளவு இறுக்கத்துடன் பிணைக்கப்பெறவில்லை. துளியின் மேற்பரப்பிலுள்ள மூலக்கூறுகள் ஏனையவற்றுடன் ஒரு பக்கத்தில் மட்டிலுந்தான் பிணைந்துள்ளன. ஆகவே, அவை ஏனையவற்றைவிட, சற்றுக் குறைவான இறுக்கத்துடன்தான் பிணைந்திருக்கின்றன. இந்த உண்மை 'புறப்பரப்பு இழுவிசை' (Surface tension) என்ற நிகழ்ச்சியை விளக்குகின்றது. ஏற்கெனவே அணுக்கருக்களில் பிரயோகம் செய்த முடிவுகளைப் போன்ற ஆற்றல்பற்றிய ஒரு சில முடிவுகளே துளிகள் கோள வடிவாக அமைவதற்குப்

புறப்பரப்பு இழுவிசை காரணமாகின்றது என்பதையும் விளக்குகின்றன. ஏனெனில், ஒரு துளியின் புறப்பரப்பின் ஆற்றலும் அதன் புறப்பரப்பும் ஒரு விகித சமமுறையில் அமைந்துள்ளன; ஆகவே, அவ்வாற்றல் புறப்பரப்பை எவ்வளவுக்குச் சிறிதாகச் செய்யக் கூடுமோ அவ்வளவுக்குச் சிறிதாகச் செய்ய முனைகின்றது. அணுக்கருக்களிலும் இத்தகைய புறப்பரப்பு இழுவிசை இருப்பதாக நாம் கற்பனை செய்து கொள்ளவேண்டும். புறப்பரப்பிலுள்ள துகள்களின் குறைவான அண்மைப் பிணைவின் (Cohesion) காரணமாக, இந்தப் புறப்பரப்பு இழுவிசை மொத்தப் பிணைப்பாற்றலில் சிறிது குறைவை உண்டாக்கவேண்டும்; அதனால் ஒவ்வொரு துகளின் சராசரி ஆற்றலும் சிறிதளவு குறைய வேண்டும். திரவத் துளியிலிருப்பது போலவே, அணுக்கருக்களிலும் அவற்றின் கோளவடிவிற்குப் புறப்பரப்பு இழுவிசையே காரணமாக உள்ளது.

முக்கிய வேற்றுமை:

எனினும், அணுக்கருப் பொருளுக்கும் ஒரு திரவத்திற்கும் ஒரு முக்கிய வேற்றுமை உள்ளது. திரவத்திலுள்ள மூலக்கூறுகள் மின்சார நடு நிலையுடன் உள்ளன; ஆனால், அணுக்கருப்பொருளில் நியூட்ரான்கள் இருப்பதுடன், மின்னூட்டம் பெற்ற புரோட்டான்களும் உள்ளன. ஆகவே, நம்முடைய ஒப்புமை அணுக்கருக்களுக்கும் ஒன்றற்கொன்று எதிராக விலக்கு விசைகளையுடைய (Forces of repulsion) மின்னூட்டம் பெற்ற மூலக் கூறுகளைக் கொண்ட திரவத்துளிகளுக்கும் பொருந்துவதாக இருக்கவேண்டும். அன்றியும், அணுக்களின் உட்கருக்களில் விலக்கும் மின்விசையும் உள்ளது.

(III) மூவகை அணுக்கருவாற்றல்

ஆகவே, நாம் ஓர் அணுக்கருவிலுள்ள முழு ஆற்றலை மூன்று கூறுகளின் கூட்டுத்தொகை என்று கருதவேண்டும். அணுக்கருவின் அண்மைப் பிணைவிற்குக் காரணமாகவுள்ள

அணுக்கருவின் விசைகளிலிருந்தே இந்த ஆற்றலின் பெரும் பகுதி கிடைக்கின்றது. இந்த ஆற்றல் புறப்பரப்பு இழுவிசையால் திரிபடைகின்றது (Modified) இறுதியாக, மொத்த ஆற்றலின் ஒரு பகுதி மின்னாற்றலின் விலக்கு விசையிலிருந்து தொடங்குகின்றது. வி. வெய்ஸர்க்கர்[10] என்பார் மேற்கொண்ட ஆராய்ச்சின் அடிப்படையில் நாம் இந்த மூன்று உறுப்புக்களையும் தனித்தனியாக ஆராய்ந்து அவற்றைப் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையுடனும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையுடனும் பொருத்துவோம்.

உட்கருவின் விசைகள்:

அணுக்கருவின் விசைகளிலிருந்து தொடங்குவோம். இந்த விசைகளே புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் பிணைப்பவை; அன்றியும் அணுக்கருக்கள் எலக்ட்ரான்களையும் பாசிட்ரான்களையும் வெளியிடவல்லவை என்ற மெய்ம்மையிலும் இவை தொடர்பு கொண்டுள்ளன என்பதையும் முன்னர்க் கண்டோம். இந்த நிகழ்ச்சி புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையே இருப்பதுபோலவே முற்றிலும் சமச் சீருள்ளதாக (Symmetrical) உள்ளது என்பது தெளிவு. ஒரு நியூட்ரான் புரோட்டானாக மாறக்கூடும்; இந்த மாற்றத்தில் ஓர் எலக்ட்ரான்வெளிவிடப்பெறுகின்றது. இதற்கு மறுதலையாக, ஒரு புரோட்டான் ஒரு நியூட்ரானாக மாறவும் கூடும்; இவ்வாறு நிகழுங்கால் ஒரு பாசிட்ரான் உடன் விளைவுப்-பொருளாகும். இதனால் அணுக்கருவிலுள்ள விசைகளை அல்லது அணுக்கருப்புலத்தைப் (Nuclear field) பொறுத்தவரையிலும் புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் யாதொரு வேற்றுமையும் இல்லை என்ற முடிவினை மெய்ப்பிக்கின்றது. ஆகவே, அணுக்கரு விசையினால் ஏற்படும் பிணைப்பாற்றலின் பகுதியை, நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் கொண்ட

10. வி. வெய்ஸாக்கர்-V. Weizsacker.

தொரு சமச்சீர் சார்பலனாக (Symmetric function) எழுதிக் காட்டுவதற்குச் சாத்தியப்படவேண்டும். முதலில் அதைப் பொது வடிவத்தில் எழுதி, புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் ஒன்றாக இருக்கும் பொழுது நாம் இரண்டாம் உறுப்புடன் நிறுத்திக்கொள்வோம். இப்பொழுது நாம் ஒரு துகளின் பிணைப்பாற்றலைக் குறிக்கும் (இந்தப் பிணைப்பாற்றல் அணுக்கருப் புலத்தில் தோன்றும் வரை) கீழ்க்காணும் ஓரினச் சமன்பாட்டை (Simple equation) அடைகின்றோம்:

$$\frac{Ev}{N + Z} = -A + B\,\frac{(N - Z)^2}{(N + Z)^2}$$

இங்கு, அணுக்கருப் புலத்திலிருந்து தோன்றும் மொத்தப் பிணைப்பாற்றலின் பகுதியே Ev என்பது; இது பருமனளவிற்குத் தகவுப் பொருத்தமுடையது A-யும் B-யும் மாறிலிகள். N-ம் Z-ம் சமமாக இருக்கும்பொழுது, அஃதாவது புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் ஒன்றாக இருக்கும்பொழுது, $\frac{Ev}{(N + Z)}$ என்ற ஒவ்வொரு துகளிலுமுள்ள பிணைப்பாற்றல்—A என்றமாறிலிக்குச் சமமாக இருக்கும். ஆனால், N-ம் Z-ம் சமமாக இராத பொழுது, சிறிய வேறுபாடுகள் நேரிடும்; இப்பொழுது N-ஐயும் Z-ஐயும் கொண்ட எளிதான சமச்சீர் சார்பலன் $(N-Z)^2$ என்ற கோவையாகும். ஆனால், அணுக்கருப்பொருள் ஒருபடித்தானதாக இருப்பதால், ஒவ்வொரு துகளின் பிணைப்பாற்றலும் N/Z என்ற விகிதத்தை மட்டிலும் பொறுத்திருக்கும்; இந்த விகிதம் $(N+Z)^2$ என்பதனால் வகுத்து அடைதல் கூடும். எனவே, நாம் பெறும் பொதுச் சமச்சீர் சார்பலன் மிகவும் சிக்கலானதாக இருக்கும் என்பது வெளிப்படை. ஆனால், அதனை டெயிலர் கோவையில்[11] (N—Z)இன் ஏறு அடுக்கில் (Ascending powers) வளரச் செய்து இரண்டாம்

11. டெயிலர் கோவை-Tailor Series.

உறுப்புடன் நிறுத்திக் கொண்டால், நாம் மேலே காட்டிய தைப்போன்ற சமன்பாட்டைப் பெறலாம். நாம் எடுத்துக் கொள்ளும் அணுக்கருக்களில் N-ம் Z-ம் ஒன்றற்கொன்று அதிகம் வேறுபடாதிருப்பதால் நமக்கு இந்த அண்ணளவீடு (தோராய மதிப்பு) போதுமானது.

இந்தச் சமன்பாட்டின் முதல் உறுப்பு எதிர் அளவாக (Negative) உள்ளது. பிணைப்பாற்றலைப் பொறுத்தமட்டிலும் அஃது அப்படித்தான் இருக்கவேண்டும். ஆயினும், மிகச்சிறிய மதிப்பைக் கொண்ட இரண்டாம் உறுப்பு நேர் அளவாக (Positive) உள்ளது. ஆகவே, அஃது எதிர் அளவிலுள்ள பிணைப்பாற்றலின் தனித்த அளவைச் சிறிது குறைத்து விடுகின்றது. N-உம் Z-உம் ஒன்றக்கொன்று எண்ணிக்கையில் வேறுபடுங்கால் பிணைப்பாற்றலின் அளவு குறைகின்றது. ஆகவே, ஆற்றல் சிக்கனத்தைப் பொறுத்தமட்டிலும், ஓர் அணுக்கரு புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் சமமான எண்ணிக்கையில் பெற்றிருக்கும்பொழுதுதான் வசதியான சூழ்நிலை ஏற்படுவதாகத் தோன்றுகின்றது.

புறப்பரப்பு இழுவிசையால் குறையும் ஆற்றல்:

ஆனல், இங்கு நாம் புறப்பரப்பின் இழுவிசையைப் பொறுத்துள்ள திருத்தம் ஒன்றனைக் குறிப்பிட்டாகவேண்டும். ஒரு துளியின் மேற்பரப்பிலுள்ள துகள்கள் உள்ளிருக்கும் துகள்களைக் காட்டிலும் குறைவான இறுக்கத்துடன் பிணைக்கப்பெற்றுள்ளன; இந்நிலை மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாட்டின் வலப்புறத்தில் இன்னும் ஒரு நேர் அளவுள்ள உறுப்பினைச் சேர்க்க வேண்டும் என்பதை உணர்த்துகின்றது. ஏனெனில், —A என்ற முதல்நிலை உறுப்பு எதிர் அளவாக இருப்பதால், சமன்பாட்டின் இப்பக்கம் கட்டாயம் எதிர் அளவாகத்தான் இருக்கவேண்டும்; அதன் மதிப்பைக் குறைப்பதற்கு ஏதாவது ஒரு நேர் அளவினைச் சேர்க்கவேண்டும். புறப்பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாகப் பிணைப்பாற்றலின் அளவில் ஏற்படும் மாற்றம் புறப்பரப்பிலுள்ள துகள்களின் எண்ணிக்கை

யுடன் தகவுப் பொருத்தத்திலுள்ளது; ஆகவே, அது புறப் பரப்பிற்கும் தகவுப் பொருத்தமாகின்றது. ஆனால், புறப் பரப்பு அணுக்கருவின் பருமனளவின் 2/3-வது அடுக்கிற்கு (அல்லது துகள்களின் மொத்த எண்ணிக்கையின் 2/3-வது அடுக்கிற்குத்) தகவுப் பொருத்தத்தில் அமைந்துள்ளது. ஆகவே, பிணைப்பாற்றலின் இப்பகுதியை $Eo = C (N+Z)^{2/3}$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம். இதை (N + Z) ஆல் வகுத்தால் ஒவ்வொரு துகளிற்கும் உள்ள சிறு பகுதி ஆற்றல் கிடைக்கும். இதனை அடியிற்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்:

$$\frac{E_0}{N + Z} = C (N + Z)^{-\frac{1}{3}}$$

இங்கு C என்பது ஒரு மாறிலி.

மின் விலக்கு விசையின் விளைவு:

இறுதியாக, புரோட்டான்களிடையே நேரிடும் மின்-விலக்கு விசையின் விளைவைக் குறிப்பதற்கு வலப்புறத்தில் மற்றோர் உறுப்பினைச் சேர்க்கவேண்டும். இப்பொழுது நாம் நமக்குப் பழக்கமாகவுள்ள மின்சார நிலையியலின் (Electrostatics) எல்லைக்கு வருகின்றோம். ஓர் அணுக்கரு விலுள்ள மின்னூட்டம் Ze என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப் பெறும்; e என்பது அடிப்படை குவாண்டம் மின்சாரத்தைக் குறிக்கின்றது. ஒரு மின்தங்கியிலுள்ள (Condenser) ஆற்றல் அதிலுள்ள மின்னூட்டத்தின் மடக்கு எண்ணுக்குத்(Square) தகவுப் பொருத்தமாக இருப்பது போலவே, ஓர் அணுக்கரு விலுள்ள மின்னாற்றலும் அதன் மின்னூட்டத்தின் மடக் கெண்ணிற்கு, அஃதாவது Ze^2-க்கு, தகவுப் பொருத்தமுடைய தாகும். மேலும், அஃது அணுக்கருவின் ஆரத்திற்கு(Radius)த் தலைகீழ்த் தகவுப் பொருத்தத்திலுள்ளது. மற்றும், ஓர் எண் காரணியையும் கருதவேண்டியுள்ளது; ஒருபடித்தான மின்னூட்டம் பெற்ற கோளத்திற்கு இக்காரணி 3/5 ஆகும். மின்னூட்டம் மேற்பரப்பை நோக்கிச் சிறிது இடம் பெயர்க்

கப்பெற்றால், இக்காரணி சிறிது சிறிதாக மாறிக்கொண்டே சென்று ½ஐ அணுகும். மிகச் சரியாக இராவிடினும் ஆரத்தின் அளவை நாம் அறிவோமாதலின், சிறிதும் ஐயப்பாடின்றி புறப்பரப்பை நோக்கி மின்னூட்டத்தில் இடப் பெயர்ச்சி (Displacement) இருந்தபோதிலும், 3/5 என்ற காரணியை நாம் அப்படியே வைத்துக் கொள்ளலாம். இந்த ஆற்றல் கூறினை அடியிற்கண்டவாறு எழுதிக் காட்டலாம்:

$$Ec = \frac{3}{5}\frac{(Ze)^2}{r}$$

ஆனால், r என்ற ஆரம் பருமனளவின் கனமூலத்திற்குத் (Cuberoot)—அஃதாவது துகள்களின் எண்ணிக்கையின் கன மூலத்திற்குத் — தகவுப் பொருத்தத்திலிருப்பதால், $r = r_0 (N + Z)1/3$ என்று நாம் குறிப்பிடலாம். இங்கு r_0 என்பது ஒரு மாறிலி; உண்மையில், r_0 என்பது ஒரு துகளைக்கொண்ட அணுக்கருவின் ஆரமாகும்; ஆனால், இதைப் புரோட்டானின் ஆரத்துடனாவது நியூட்ரானின் ஆரத்துடனாவது ஒன்றாக வைத்தெண்ணுதல் கூடாது. ஆகவே, ஒரு துகளின் பிணைப் பாற்றலின் இப்பகுதியை அடியிற்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்:

$$\frac{Ec}{N + Z} = \frac{3}{5}\frac{(Ze)^2}{(N + Z)4/3\, r_0}$$

மின்விலக்கு விசை மொத்தப் பிணைப்பாற்றலின் அளவைக் குறைப்பதால், நாம் இந்த உறுப்பை நம்முடைய சமன் பாட்டுடன் நேர் அடையாளத்துடன் சேர்க்கவேண்டும். ஒரு துகளின் பிணைப்பாற்றலைக் குறிப்பிடும் முழுக் கோவை இறுதியாக அடியிற்காணும் வடிவத்தை அடைகின்றது:

$$\frac{E}{N + Z} = -A + B\,\frac{(N - Z)^2}{(N + Z)^2} + \frac{C}{(N + Z)1/3} + \frac{3}{5}\frac{(Ze)^2}{(N + Z)4/3\, r_0}$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் A, B, C, r_0 என்ற நான்கு மாறிலிகள் உள்ளன; இவற்றுள், r_0 தின் மதிப்பை மட்டிலும் அணுக்

கருக்களை அளத்தலிலிருந்து—இதுவும், சரியாக அன்று—அறிவோம்.

மாறிலிகளின் மதிப்புக்கள்:

இந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்த வேண்டுமாயின் மேற்குறிப்பிட்ட நான்கு மாறிலிகளின் சரியான மதிப்புக்களை அறிதல் மிகவும் இன்றியமையாதது. அணுக்கருவினுள்ளிருக்கும் விசைகளைப்பற்றி இன்னும் அதிகமாகவும், அணுக்கரு விசைகளைப்பற்றிச் சிறப்பாகவும் அறியக் கூடுமாயின், அவற்றைக் கொள்கை முறையில் (Theoretically) கணக்கிட்டு விடலாம். ஆனல், உண்மையில் இதன் மறுதலை முறைதான் நமக்குக் கிடைக்கின்றது. அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல்களைப்பற்றி ஏற்கெனவே அறிந்துள்ள தகவல்களைக் கொண்டே, அஃதாவது பொருண்மைக் குறைகளைக் கொண்டே, அவற்றின் அனுபவ பூர்வமான (Empirical) அளவைகள் தீர்மானிக்கப்பெறுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக ஃபுளுக்கே[12] என்பாரும், வி. ட்ரோஸ்டே[13] என்பாரும் மேற்கொண்ட ஆராய்ச்சியின் விளைவாக இம்முறையைக் கையாண்டு அடியிற்கண்ட எண் அளவைகளைக் கணக்கிட்டுள்ளனர்:

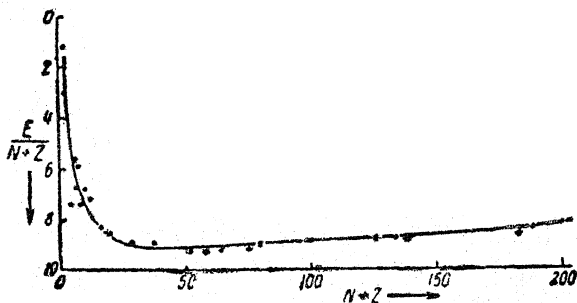
$A = 0{\cdot}01574$ அ. பொ. அ; $B = 0{\cdot}022$ அ. பொ. அ;
$C = 0.0165$ அ. பொ. அ;

$$\frac{3e^2}{5r_0} = 0.000646 \text{ அ. பொ. அ.}$$

சமன்பாட்டின் வரைப்படம்.

இவ்வாறு அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல்கள் அனுபவ உண்மைகளுடன் நன்முகப் பொருந்துவதை வரைப்படத்

12. புளுக்கே-Flugge.
13. வி. ட்ரோஸ்டே-V. Droste.

தால் (Graph) விளக்கிக் காட்டலாம். படம் 11-இல் உள்ள வளைவரை (Curve) நமது சமன்பாட்டை விளக்குகின்றது; அது மேற்காட்டிய மாறிலிகளின் மதிப்புக்களுடன் கிட்டத் தட்டப் பொருந்துகின்றது; இந்த வளைவரை, தெரிந்த அணு எடைகளையுடைய நிலைப்புள்ள எல்லாத் தனிமங்களின் ஆற் றல்களையும் காட்டுகின்றது. பிணைப்பாற்றல் ஓர் எதிர் அளவு ஆதலின், ஒரு புள்ளி எவ்வளவுக்கெவ்வளவு கீழாக இருக்

படம்-11: N+Z என்ற சார்பலன்களில் அணுக்கருக் களின் பிணைப்பாற்றல்களைக் காட்டுவது.

கின்றதோ, அஃது அவ்வளவுக்கவ்வளவு அதிகமாகத் தனிமங் களின் பிணைப்பாற்றலை விளக்கிக் காட்டும். வளைவரையின் நெடுகக் காணப்பெறும் புள்ளிகள் பொருண்மைக் குறைகளி லிருந்து கணக்கிடப்பெற்ற ஒவ்வொரு துகள்களின் பிணைப் பாற்றலின் மதிப்புக்களைக் காட்டுவனவாகும். இப்பொருத் தம் மிகத் திருப்திகரமாக இருப்பதைக் காணலாம்.

வளைவரை விளக்கம்:

இந்த வளைவரையைப் பகுத்து ஆராய்வோம். இதன் மிகக் கீழ் நிலையிலுள்ள புள்ளியைச் சமன்பாட்டின் மிகப் பெரிய உறுப்பாகிய —Aயைக் கொண்டு மிகத் தெளிந்த முறையில் உறுதியாகத் தீர்மானிக்கலாம். மிகச் சிறிய

அணு-எடைகளினுல் ஏற்படும் ஏற்றத்திற்குக் காரணம். புறப் பரப்பு இழுவிசையே யாகும்; இவ்விசை இயல்பாகவே இலேசான அணுக்கருக்களில் மிக முக்கிய பங்கெடுத்துக் கொள்ளுகின்றது. பளுவான அணுக்கருக்களில் இது நேரிடு வதற்குக் காரணம், புரோட்டான்களிடையே காணப்பெறும் மின்விலக்கு விசையே (Electric repulsion) யாகும்.

மேலும், இலேசான அணுக்கருக்களில் பெரும்பாலும் கிட்டத்தட்ட நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் போலவே புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் உள்ளது என்பதை நமது சமன்பாடு உணர்த்துகின்றது. மின்சார விலக்கு விசையைக் குறிப்பிடும் இறுதி உறுப்பு, Zஇன் மதிப்பு அதிகரிப்பதற்கேற்றவாறு அதிகரிக்கின்றது; இலேசான அணுக்களில் Z-இன் மதிப்பு குறைவாக இருக்கும்பொழுது அது முக்கிய பங்கு பெறுவதில்லை. அத்தகைய சந்தர்ப்பங் களில் அதைத் தள்ளுபடி செய்துவிடலாம். மூன்ருவது உறுப்பு துகள்களின் மொத்த எண்ணிக்கையை மட்டிலும் கொண்டே தீர்மானிக்கப்பெறுகின்றது; இரண்டாவது உறுப் பைப்போல் அவற்றின் விகிதத்தைக்கொண்டு அறுதியிடப் பெறுவதில்லை; N = Z ஆக இருக்கும்பொழுது, அஃதாவது புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை நியூட்ரான்களின் எண்ணிக் கைக்குச் சமமாக ஆகும்பொழுது, இரண்டாவது உறுப்பு மறைகின்றது; இந்நிலையில் பிணைப்பாற்றல் உச்ச(Maximum) அளவினை அடைகின்றது. ஆற்றலைப் பொறுத்தமட்டிலும். இது மிகவும் செளகர்யமான நிலையாகும். ஆனுல், பளுவான அணுக்களைப் பொறுத்தமட்டிலும் இங்ஙனம் ஏற்படுவதில்லை; இங்குச் சமன்பாட்டின் இறுதி உறுப்பு, பிணைப்பாற்றலில் நன்கு புலனுகக் கூடிய அளவு, குறைவினை உண்டாக்குகின் றது. ஆற்றல் நிலையைப் பொறுத்தவரையில், இரண்டாவது உறுப்பு சற்று உயர்ந்தால் மிகவும் இலாபகரமாக இருக்கும்; இதனுல் N/Z என்ற விகிதம் 1ஐ விடச் சற்று உயர்ந்து அதன் விளைவாக நான்காவது உறுப்பின் அளவு மிக அதிகமாகக் குறையக் கூடும்.

ஆற்றலின் புறப்பரப்பு—வளைவரை விளக்கம்:

உண்மையில் பிணைப்பாற்றல் என்பது N-ஐயும் - Zஐயும் கொண்ட ஒரு சார்பலனாகும்; அதை நாம் மூன்று-அளவையுள்ள ஆயத் தொலை முறையில் (Three-dimensional co-ordinate system) அமைத்து விளக்கலாம்; இவ்வாறு அமைக்கும் பொழுது இடப்புறமிருந்து வலப்புறமாக நோக்கிச் செல்லும் படுமட்ட ஆயத்தில் (Horizontal axis) புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையையும், முன்புறத்திலிருந்து பின்புறம் நோக்

படம்-12: நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்களின் நிலைமைகளையும் மாறாத பிணைப்பாற்றலின் வளைவரைகளையும் காட்டுவது.

கிச் சொல்லும் படுபட்ட ஆயத்தில் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும், செங்குத்தாகவுள்ள ஆயத்தில்(Vertical axis) பிணைப்பாற்றலையும் பதிவு செய்ய வேண்டும். ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலின் மதிப்பு (N, Z)இன் இணையளவுகளுக்கு

உரியதாக இருப்பதால் நமது சமன்பாடு ஒரு புறப்பரப்பைத் தருகின்றது. அணுக்கருவின் நிலைப்பினை அறுதியிடுவதற்கு வேண்டிய எல்லாத் தகவல்களையும் ஆற்றலின் புறப்பரப்பின் வடிவத்திலிருந்தே பெறலாம். படம்-12, படவடிவத்தில் இந்தப் புறப்பரப்பைக் காட்டுகின்றது; இதிலுள்ள சமஉயரக் கோடுகள் (Contour lines)பிணைப்பாற்றலின் சம அளவுகளைக் காட்டுகின்றன. இதில் மேற்கொண்ட ஆற்றலின் அலகு 0.001 அ. பொ. அ. ஆகும். பிணைப்பாற்றல்கள் எதிர் அளவாக இருப்பதால், புறப்பரப்பு ஓவிய தளத்திற்குக் கீழாக அமைகின்றது. இது படத்தின் இடது கீழ்மூலையிலிருந்து வலது மேல்மூலையை நோக்கிச் சிறிது சிறிதாகச் சரிந்து வரும் பள்ளத்தாக்கைப் போலவே உள்ளது; இதையே பட ஒப்புமையைப் பயன்படுத்தித் தென் மேற்கிலிருந்து வடகிழக்கை நோக்கி விழும் பள்ளத்தாக்கைப்போல் (Valley) உள்ளது என்றும் வேறு விதமாகக் கூறலாம். சிறிது வளைவுள்ள தெருவில் வீடுகள் இருப்பதுபோல் நிலைப்பு அணுக்கருக்கள் இந்தப் பள்ளத்தாக்கின் அடிமட்டத்தில் அமைகின்றன. ஒரே எண்ணிக்கைத் துகள்களைக் கொண்ட அணுக்கருக்கள் எப்பொழுதும் வடமேற்கிலிருந்து தென்கிழக்கில் 45^{0}—குக் குறைவாக உள்ள ஒரு கோணத்தின் நேர்க் கோடுகளிலேயே அமையும். இந்த அணுக்கருக்களுள் அடிமட்டத்தின் மிக அண்மையிலுள்ள அணுக்கரு மிக அதிகமான நிலைப்புடையது. அழியா விதிகளை யொட்டி (Conservation laws) மிகக் குறைந்த நிலைப்புடனிருக்கும் அணுக்கருக்களில் ஒன்று எப்பொழுதும் மிக அதிகமான நிலைப்புடைய அணுக்கருவாக மாறிக்கொண்டே இருக்கும். பள்ளத்தாக்கின் தரை மட்டத்தில் இடப்புறமாக அமைந்துள்ள அணுக்கருக்களில் மிக அதிகமான நியூட்ரான்கள் உள்ளன. ஆகவே, அவை ஓர் எலக்ட்ரானை விடுவித்துக் கொண்டு மாற்றம் அடைய வேண்டும். ஆனால், வலப்புறமாக அமைந்துள்ள அணுக்கருக்களில் மிக அதிகமான புரோட்டான்கள் உள்ளன. ஆகவே, அவை ஒரு பாசிட்ரானை விடுவித்துக்கொண்டு மாற்றம் அடைய வேண்டும். எனினும், நாம் இவ்வாறு நடைபெறா நிலையைத்தான் காண்கின்றோம்;

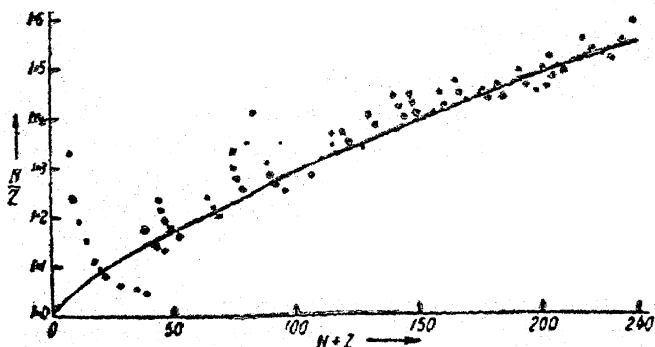
ஆற்றலின் புறப்பரப்பு—வளைவரை விளக்கம்:

உண்மையில் பிணைப்பாற்றல் என்பது N-ஐயும் - Zஐயும் கொண்ட ஒரு சார்பலனாகும்; அதை நாம் மூன்று-அளவையுள்ள ஆயத் தொலை முறையில் (Three-dimensional co-ordinate system) அமைத்து விளக்கலாம்; இவ்வாறு அமைக்கும் பொழுது இடப்புறமிருந்து வலப்புறமாக நோக்கிச் செல்லும் படுமட்ட ஆயத்தில் (Horizontal axis) புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையையும், முன்புறத்திலிருந்து பின்புறம் நோக்

படம்-12: நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்களின் நிலைமைகளையும் மாறாத பிணைப்பாற்றலின் வளைவரைகளையும் காட்டுவது.

கிச் சொல்லும் படுபட்ட ஆயத்தில் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும், செங்குத்தாகவுள்ள ஆயத்தில்(Vertical axis) பிணைப்பாற்றலையும் பதிவு செய்ய வேண்டும். ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலின் மதிப்பு (N, Z)இன் இணையளவுகளுக்கு

உரியதாக இருப்பதால் நமது சமன்பாடு ஒரு புறப்பரப்பைத் தருகின்றது. அணுக்கருவின் நிலைப்பினை அறுதியிடுவதற்கு வேண்டிய எல்லாத் தகவல்களையும் ஆற்றலின் புறப்பரப்பின் வடிவத்திலிருந்தே பெறலாம். படம்-12, படவடிவத்தில் இந்தப் புறப்பரப்பைக் காட்டுகின்றது; இதிலுள்ள சமஉயரக் கோடுகள் (Contour lines) பிணைப்பாற்றலின் சம அளவுகளைக் காட்டுகின்றன. இதில் மேற்கொண்ட ஆற்றலின் அலகு 0.001 அ. பொ. அ. ஆகும். பிணைப்பாற்றல்கள் எதிர் அள வாக இருப்பதால், புறப்பரப்பு ஓவிய தளத்திற்குக் கீழாக அமைகின்றது. இது படத்தின் இடது கீழ்மூலையிலிருந்து வலது மேல்மூலையை நோக்கிச் சிறிது சிறிதாகச் சரிந்து வரும் பள்ளத்தாக்கைப் போலவே உள்ளது; இதையே பட ஒப்பு மையைப் பயன்படுத்தித் தென் மேற்கிலிருந்து வடகிழக்கை நோக்கி விழும் பள்ளத்தாக்கைப்போல் (Valley) உள்ளது என்றும் வேறு விதமாகக் கூறலாம். சிறிது வளைவுள்ள தெரு வில் வீடுகள் இருப்பதுபோல் நிலைப்பு அணுக்கருக்கள் இந்தப் பள்ளத்தாக்கின் அடிமட்டத்தில் அமைகின்றன. ஒரே எண் ணிக்கைத் துகள்களைக் கொண்ட அணுக்கருக்கள் எப்பொழு தும் வடமேற்கிலிருந்து தென்கிழக்கில் 45^{0}—குக் குறைவாக உள்ள ஒரு கோணத்தின் நேர்க் கோடுகளிலேயே அமையும். இந்த அணுக்கருக்களுள் அடிமட்டத்தின் மிக அண்மை யிலுள்ள அணுக்கரு மிக அதிகமான நிலைப்புடையது. அழியா விதிகளை யொட்டி (Conservation laws) மிகக் குறைந்த நிலைப் புடனிருக்கும் அணுக்கருக்களில் ஒன்று எப்பொழுதும் மிக அதிகமான நிலைப்புடைய அணுக்கருவாக மாறிக்கொண்டே இருக்கும். பள்ளத்தாக்கின் தரை மட்டத்தில் இடப்புறமாக அமைந்துள்ள அணுக்கருக்களில் மிக அதிகமான நியூட்ரான் கள் உள்ளன. ஆகவே, அவை ஓர் எலக்ட்ரானை விடுவித்துக் கொண்டு மாற்றம் அடைய வேண்டும். ஆனால், வலப்புற மாக அமைந்துள்ள அணுக்கருக்களில் மிக அதிகமான புரோட்டான்கள் உள்ளன. ஆகவே, அவை ஒரு பாசிட்ரானை விடுவித்துக்கொண்டு மாற்றம் அடைய வேண்டும். எனினும், நாம் இவ்வாறு நடைபெறு நிலையைத்தான் காண்கின்றோம்;

அடிக்கடி N + Z மொத்தத் துகள்களைக் கொண்ட இரண்டு அல்லது மூன்று நிலைப்புள்ள அணுக்கருக்கள் நிலைபெற்றுள் ளன. இந்த அணுக்கருக்கள் "அணுக்கரு ஐசோபார்கள்"[14] (Nuclear isobars) என்று வழங்கப்பெறுகின்றன. பள்ளத் தாக்கின் அடிப்புறத்தைப்பற்றிய மிக் நுட்பமான வேறு சில விவரங்களைக் கொண்டு இந்நிலையை விளக்கக் கூடும்; பொது வான உலகங்களை அடிப்படையாகக் கொண்ட நமது சமன்

படம்-13: நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்களில் N/Z என் பதை N+Z என்பதன் சார்பலன்களாகக் காட்டுவது.

பாட்டினால் இதனை விளக்க இயலாது. நடைமுறையில் பள் ளத்தாக்கின் அடிப்புறத்தில் சில மடிப்புக்களும் வேறு சில நுண்ணிய விவரங்களும் காணப்பெறுகின்றன; அவற்றைக் கொண்டு பிணைப்பாற்றல்களை அளத்தலால் சில தகவல்களைப் பெறலாம். எனினும், நாம் நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்கள் பள்ளத்தாக்கின் அடியில் அல்லது அதன் மிகஅருகில் உள்ளன என்று சொல்லிவிடலாம்; அந்த அணுக்கருக்களில் ஒரு குறிப் பிட்ட எண்ணிக்கைத் துகள்களைக் கொண்ட மிக உயர்ந்த நிலைப்புடனுள்ள அணுக்களின் பெயர்களையும் கூறிவிடலாம்.

14. ஐசோபார்கள்-Isobars.

இந்நிலையின் காட்சியை வேறொரு போக்கில் படம்-13. காட்டுகின்றது. இதில் N — Z என்ற துகள்களின் மொத்த எண்ணிக்கைகள் படுமட்டாயத்திலும் (Abscissae), N/Z என்ற துகள்களின் விகிதங்கள் குத்தாயத்திலும் (Ordinates) காட்டப்பெற்றுள்ளன. தொடர்ந்து நோக்கோடு பள்ளத் தாக்கின் அடிமட்டத்திலுள்ள புள்ளிகளைக் காட்டுகின்றன; புள்ளிகள் நிலைப்புடனுள்ள தனிப்பட்ட அணுக்கருக்களின் நிலைகளை உணர்த்துகின்றன. அவை பள்ளத்தாக்கின் அடி மட்டத்தின் நெடுகவும், அவற்றின் மிக அருகிலும் எவ்வாறு வினியோகிக்கப்பெற்றுள்ளன என்பதையும் நாம் படத்தில் காணக்கூடும்.

படம்-11, 12, 13-களில் நிலைப்புடைய அணுக்கருக்கள் மட்டிலும் காட்டப்பெற்றுள்ளன. அதன் முழுக்காட்சியும் இந்நூலின் இறுதியில் காணப்பெறும் அட்டவணை IV (a), அட்டவணை-IV (b) களில் காட்டப்பெற்றுள்ளன; அவற்றில், நாம் அறிந்த நிலைப்புத்தன்மையற்ற எல்லா அணுக்கருக்களும் அடங்கியுள்ளன. படுமட்டாயங்கள் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கைகளையும், குத்தாயங்கள் N—Z என்ற நியூட்ரான் களுக்கும் புரோட்டான்களுக்கும் உள்ள வேற்றுமையையும் காட்டுகின்றன. நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்கள் கரும்புள்ளி களாலும், எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடுபவை (Electron emitters) மேல் நோக்கிய உச்சியைக் கொண்ட முக்கோணங்களா லும், பாசிட்ரான்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்கள் (Positron emitters) கவிழ்ந்த முக்கோணங்களாலும் (Inverted triangles) குறிப்பிடப்பெற்றுள்ளன. எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்கள் அதிகமான நியூட்ரான்களையும், பாசிட்ரான் களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்கள் குறைவான நியூட்ரான்களை யும் பெற்றுள்ளன. ஆகவே, முதல் வகை பெரும்பாலும் N—Z அதிகமாகவுள்ள இடத்தில்,—அஃதாவது அணுக்கருக் களின் கூட்டத்தின் மேற்சுற்றிலும் (Periphery)—பாசிட்ரான் களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்களில் பெரும்பாலானவைN—Z குறைவாகவுள்ள அக் கூட்டத்தின் கீழ்க்கோடியிலும் காணப் பெறுகின்றன. நிலைப்புத்தன்மையற்ற அணுக்கள் நிலைப்புட

னுள்ள அணுக்கருக்களுடன் அடிக்கடி கலந்து காணப்படு கின்ற மெய்ம்மை, மிகவும் கவனத்திற்கு வரும் ஒரு கூறு ஆகும். இந் நிலைக்குரிய காரணங்கள் பின்னர் ஆராயப் பெறும். சில அணுக்கருக்கள் அவற்றின் புற அமைப்பில் மிக உட்புறமாகவுள்ள எலக்ட்ரான் கூட்டிலிருந்து (K—கூடு) ஓர் எலக்ட்ரானைச் சிறைப்படுத்திக் கொண்டு மாற்றம் அடை கின்றன. இந்த அணுக்கருக்கள் 'K—பற்றிகள்' (K-Capturers) என்று சொல்லப்பெறுகின்றன. அவை நம் அட்டவணைகளில் வட்டங்களாகக் காட்டப்பெற்றுள்ளன. பெரும்பாலும் அட்டவணையின் கோடியில், பல சதுரங்களையும் காண்கின் றோம்; அவை ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக் களை உணர்த்துகின்றன.

ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்கள்:

இதுகாறும், எலக்ட்ரான்களையோ பாசிட்ரான்களையோ வெளிவிட்டு மாற்றத்தை அடையும் உறவுடன் கூடிய அணுக் கருவின் நிலைப்புத் தன்மையைப்பற்றி ஆராய்ந்தோம். இனி, ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிட்டு அவை மாற்றம் அடையும் உறவுடன் கூடிய அணுக்கருவின் நிலைப்புத்தன்மையைப் பற்றிச் சுருக்கமாக ஆராய்வோம். படம்—11ஐ ஆராய்ந்து $\frac{E}{N+Z}$ இன் மதிப்பு, தொடக்கத்தில் குறைந்தும் பிறகு அதிகரித்தும் இருப்பதிலிருந்து, $Z+N=40$ என்று இருக் கும் வரையில் அணுக்கருவின் நிலைப்புத்தன்மை நிதானமாக அதிகரிக்கும் என்றும், அதன் பிறகு சிறிது சிறிதாகக் குறை யும் என்றும், இதற்குக் காரணம் மின்சார விலக்கு விசையே என்றும் நாம் சில முடிவுகட்கு வருதல் கூடும். ஆயினும், இந்நிலைகளில்கூட, அணுக்கருவிலிருந்து தனிப்பட்ட ஒரு துகளை அகற்றுவதற்கு 'வினை' (Work) ஆற்றப்பெறுதல் வேண்டும். இவ்வாறு வினையைச் செலுத்தி இரண்டு நியூட் ரான்களையும் இரண்டு புரோட்டான்களையும் சேர்ந்தாற் போல் அணுக்கருவிலிருந்து அகற்றி, அதன்பிறகு அவற்றை ஒரு ஹீலிய அணுக்கருவாகச் சேர்ப்பதாகக் கருதுவோம்

இந்தச் செயலில் ஆற்றல் மிகப் பெரிய அளவில், அஃதாவது 30 Mev, விடுவிக்கப்பெறுகின்றது. இந்த ஆற்றல் தனித் தனியே நான்கு துகள்களை அகற்றுவதற்குத் தேவையான ஆற்றலைவிட அதிகமாக இருந்தால், ஆற்றலில் ஆதாயம் உள்ளது என்ற முடிவுக்குத்தான் வரவேண்டும். ஆகவே, ஆற்றலியலின் (Energetics) நோக்கத்தைப் பொறுத்தமட்டி லும், இந்தச் செயல் பயனுடையதாகின்றது; அன்றியும், இச்செயலால் அணுக்கருவில் ஓர் ஆல்பாத் துகளின் தோற்ற மும், அதன் பிறகு அதனை அணுக்கரு வெளிவிடுதலும் தாஞ கவே நடைபெற்றுக்கொண்டிருக்க வேண்டும். துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்தற்கேற்றவாறு இச்செயல் நடை பெறக்கூடிய ஏற்புடைமையும் அதிகரிக்கவேண்டும் என்பது உறுதியாகின்றது. காரணம், துகள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்தற்கேற்றவாறு ஒவ்வொரு துகள்களின் பிணைப்பாற் றல் குறைகின்றது. ஆகவே, அனுபவத்தையொட்டி, ஆல் பாக் கதிர்களை வெளிவிடும் அணுக்கருக்கள் பளுவான அணுக் கருக்களினிடையேதான் இருத்தல் வேண்டும் என்றுகின்றது. உண்மையில், மிகப் பளுவான அணுக்கருக்களை அணுகும் பொழுது ஒரு துகளின் பிணைப்பாற்றலின் அளவும் கிட்டத் தட்ட, 6 லிருந்து 7 Mev வரை, குறைந்து கொண்டு செல் வதை அறியலாம்; அஃதாவது, இது ஹீலிய அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றலில் நான்கில் ஒரு பங்கு உள்ளது.

அணுக்கரு பிளவுறுதல்:

துகள்களின் மொத்த எண்ணிக்கை அதிகமாக இருக்கும் பொழுது, ஆற்றலியலைப்பொறுத்தவரை அணுக்கருவைக் கிட்டத்தட்ட ஒரே அளவுள்ள இரண்டு கூறுகளாகப் பிரிப்ப தில் ஆதாயம் உள்ளது. பொருண்மை-எண் 230-ஐக் கொண்ட ஓர் அணுக்கரு, பொருண்மை எண் 100-உம் பொருண்மை-எண் 130 உம் கொண்ட இரண்டு அணுக்கருக் களாகப் பிரியலாம். ஏனெனில், இந்த இரண்டு அணுக்கருக் களின் பிணைப்பாற்றலின் மொத்த அளவு பொருண்மை-

எண் 230-ஐக் கொண்ட ஒரு தனிஅணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றலின் அளவைவிட அதிகமாக உள்ளது. இவ்வாறு அணுக்கருக்களைப் பிரிக்கும் நிகழ்ச்சிகள்—பிளவுறுதல் (Fission)—1938-இல் ஹான்,[15] ஸ்ட்ராஸ்மன்[16] என்ற இரண்டு அறிஞர்களால் உண்மையாகவே உற்றுநோக்கப்பெற்றன.

உண்மையில் ஒவ்வொரு பளுவான தனிமமும் ஏன் ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிடுவதில்லை என்றும், அல்லது அனுபவத்தையொட்டி குறிப்பிடத்தக்க அளவு நீண்ட காலம் வரை ஒன்ருக இணைந்திருப்பதற்குப்பதிலாக இஃது ஏன் கிட்டத்தட்டச் சம அளவுள்ள இரண்டு அணுக்கருக்களாகப் பிரிகின்றது என்றும் நாம் வியப்புறுதல் கூடும். பிளவுறுதலைப் பொறுத்தமட்டிலும், இந்தத் தனிமங்களின் ஆயுட் காலங்கள் (Lifetimes) மிக அதிக்மாகவே உள்ளன. இந்த விஞவை ஆருவது சொற்பொழிவில் ஆராய்வோம்.

15. ஹான்-Hahn.
16. ஸ்ட்ராஸ்மன்-Strassmann.

5. அணுக்கரு விசைகள்

(I) அணுக்கருப் புலத்தின் பொதுப்பண்புகள்

அணுக்கரு விசைகளின் இயல்புகள்:

அணுக்கருவினுள் புரோட்டான்களும் நியூட்ரான்களும் நாம் குறிப்பிட்ட 'அணுக்கரு விசைகள்' (Nuclear forces) என்ற விசைகளால் நெருங்கிப் பிணைவுற்றிருக்கின்றன. ஆனால், அவ்விசைகளின் இயல்பைப்பற்றி இன்னும் நாம் ஆராயவில்லை. அணுக்கருவினுள் செயற்படும் மின்விலக்கு விசைகளும் உடைப்புவிளைவினை மட்டிலுமே உண்டாக்கு கின்றன. இந்த அணுக்கரு விசைகளின் இயல்பைப்பற்றி மேற்கொள்ளப்பெறும் சோதனைகளிலிருந்து இன்று நாம் அறிந்து கொள்வதென்ன? இந்த வினாவிற்குரிய விடை மேற் கொள்ளும் வடிவத்தைப்பற்றி முதலில் சுருக்கமாக ஆராய் வோம். மின் விசைகள் என்பவை யாவை என்பதைப்பற்றி இன்னும் நாம் அறிந்து கொள்ளாமலிருந்தால், அவற்றின் இயல்பைப்பற்றிய ஆராய்ச்சியை எங்ஙனம் தொடங்குவது? மின்னூட்டங்கள் ஒன்றையொன்று விலக்குகின்றன என்று கூறி நம் ஆராய்ச்சியைத் தொடங்கலாம். இவ்வாறு விலக் கும் விசை அம் மின்னூட்டங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தின் மடக்கெண்ணின் தலைகீழ் விகிதத்திற்கேற்றவாறு குறை கின்றது. பத்தொன்பதாம் நூற்றுண்டின் தொடக்கத்தில் பெற்ற அறிவின்படி, மின்விசைக்கும் காந்த விசைக்கும்

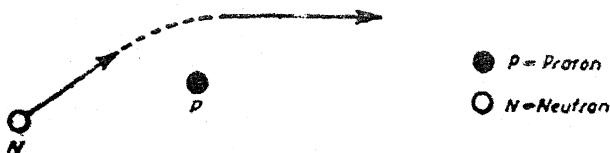
இடையே ஓர் அடிப்படை உறவு நிலவுகின்றது என்று கூற லாம். (எ-டு): மாறிக்கொண்டிருக்கும் மின் விசைகள் (Forces) சதா காந்த விசைகளை உற்பத்தி செய்கின்றன; அங்ஙனமே மாறிக்கொண்டிருக்கும் காந்த விசைகளும் மின் விசைகளை உற்பத்தி செய்கின்றன. மேலும், சிறப்பான இயல்பைக் கொண்டதாகக் கருதப்பெறும் ஒளிபற்றிய நிகழ்ச்சிகள் இந்த மின்-காந்த நிகழ்ச்சிகளுள் அடங்கியவை என்றும், அவை யாவும் மின்-காந்த அலைகளேயன்றி வேறு அன்று என்றும் நாம் அறிந்துகொள்ளவேண்டும். சிலசோதனை களில் ஒளி ஓர் அலைபோல் காணப்பெறுமல் பறந்து செல்லும் துகள்களாக, அஃதாவது ஃபோட்டான்களாகக் காணப் பெறுகின்றது என்பது அடுத்தபடியாகக் கவனிகக வேண்டிய தொன்று; எனவே, நாம் மின்-காந்தப் புலத்திற்கும் இந்த ஃபோட்டான்களுக்கும் ஓர் உறவு முறையைக் கண்டு பிடிக்க வேண்டும். எனினும், கணிதச் சமன்பாடுகளின் துணை கொண்டு மின்-காந்த விசைகளைப்பற்றிய விரிவான விவரங் களைத் தருதல் கூடும்; அந்தச் சமன்பாடுகள் காந்த விசைகள் எவ்வாறு மாறுகின்றன, எவ்வாறு பரவுகின்றன என்பதை உணர்த்தும். இந்த நிகழ்ச்சிகளின் 'இயல்பு' பற்றிய முழு விளக் கம் குவாண்டம் கொள்கைபற்றிய சமன்பாடுகளுடன்சேர்ந்த மாக்ஸ்வெல்லின்[1] சமன்பாடுகளிலிருந்தே பெறலாம்.

ஆனால், அணுக்கரு விசைகளைப்பொறுத்தவரையிலும் அச்சமன்பாடுகளை இன்னும் நாம் பெறவில்லை. எனினும், அவற்றின் விளக்கத்தைப்பற்றி ஓரளவு கருதலாம்; இக் கருத்து பண்பறி முறையில் (Qualitatively) ஓரளவு சரியாகவே இருக்கும். இக்கருத்து, மின்காந்த அலைகள் எத்தனை விவரங் களைப் பெற்றிருக்கின்றனவோ அத்தனை விவரங்களையும் அடக் கிக் கொண்டிருக்கின்றது. என்றாலும், இதற்குச்சரியான கணித வாய்பாடுகள்தாம் இல்லை.

---

1. மாக்ஸ்வெல்-Maxwell

விசைக்கும் துகள்களிடையேயுள்ள தூரத்திற்கும் உள்ள உறவு:

இங்கு எழும் முதல் வினா இது: அணுக்கருவில் இரண்டு துகள்களுக்கிடையே செயற்படும் விசை எவ்வாறு அவற்றினிடையேயுள்ள தூரத்தைப் பொறுத்துள்ளது? ஒரு வேளை அதுவும் இந்தத் தூரத்தின் மடக்கெண்ணுக்குத் தலைகீழ் விகித சம முறையில்தான் உள்ளதா? இந்தப் பிரச்சினையை ஆராய்வதற்கு மிக எளிய பொருள் ட்யூடெரான் என்பது; ஒரு ட்யூடெரானில் ஒரு புரோட்டானையும் ஒரு நியூட்ரானையும் பிணைக்கும் விசையைப்பற்றி நாம் பரிசீலனை செய்வோம். இந்த விசை தெரிந்தால், வேறு அணுக்கருக்களின் அண்மைப் பிணைவைப் (Cohesion) புரிந்து கொள்வதற்கு

படம் 14: ஒரு புரோட்டானின் அருகில் ஒரு நியூட்ரானின் ஒதுக்கத்தைக் காட்டுவது.

நமக்கு நல்ல ஒரு வாய்ப்பு கிடைக்கும். நியூட்ரான் எந்த வித மின்னூட்டத்தையும் பெற்றிராததால், நாம் கண்டறிய வேண்டிய விசை மின்சாரப் பண்பைப் பெற்றிருத்தல் முடியாது. மேலும், மின்விசைகள் மிக வலிவற்று இருத்தலின், அவை பொருண்மைக் குறைகளின் விளைவாக உண்டாகும் மிக அதிகமான ஆற்றலுக்கு விளக்கம் தர இயலாத நிலையில் உள்ளன.

ஒரு புரோட்டான் ஒரு நியூட்ரான் ஆகியவற்றிலிருந்து ஒரு ட்யூடெரான் உண்டாகுங்கால், பிணைப்பாற்றல் 2.2 Mev ஆற்றலுடன் கூடிய ஒரு ஃபோட்டானை—அஃதாவது, மின்-

காந்த ஆற்றலாக—வெளி விடப்பெறுகின்றது என்பதை ஏற்கெனவே நாம் எடுத்துக்காட்டியுள்ளோம். இதிலிருந்துஒரு வடிவிலுள்ள ஆற்றல் பிறிதொரு வடிவத்திற்கு மாற்றவல்ல—அஃதாவது, அணுக்கருப் புலத்திலுள்ள மின்-காந்தமல்லாத ஆற்றல் கதிர்வீசலின் மின்-காந்த ஆற்றலாக மாற்றப்படும்—செயலொன்று நடைபெற்றுக்கொண்டுள்ளது என்பதுதெளிவாகின்றது, ஆகவே, பொதுவாக எல்லா வகைஆற்றல்களைப் போலவே, அணுக்கருப்புலத்தின் ஆற்றலும் ஆற்றலின் பிற வடிவங்களாக மாற்றப்படும் திறனைப் பெற்றுள்ளது என்பது பெறப்படுகின்றது.

நியூட்ரான்கள்:

பறந்து செல்லும் நியூட்ரான்கள் ஒரு புரோட்டானின் அருகே செல்லும்பொழுது நேரிடும் ஒதுக்கத்தைக் கவனித்து அணுக்கரு விசைகள் தூரத்தைப்பொறுத்துள்ளனஎன்பதைப் பற்றி ஓரளவு நுட்பமாக அறியலாம் (படம்—14.). நவீன பௌதிகத்தில் நியூட்ரான்களின் மூலங்களுக்குக் குறைவில்லை. வேண்டுவதெல்லாம் நியூட்ரான்களை ஹைட்ரஜனைக்கொண்ட ஒரு பொருளின்மூலம்—(எ-டு) பாரபின் மெழுகு போன்ற ஒரு ஹைட்ரோ-கார்பன் அல்லது நீர்—செலுத்தி அவற்றைத் தம்முடைய நேர் வழிகளினின்றும் ஒதுக்கமடையச் செய்ய வேண்டுவதே. ஒரு நியூட்ரானின் ஒதுக்கத்தின் அளவு இயல்பாக புரோட்டானிடமிருந்து அது செல்லும் பாதையின் தூரத்தைப் பொறுத்தது. பெரும்பாலும் இந்தத் தூரம் அதிகமாகவே இருக்கும். நியூட்ரான்கள் ஒரு புரோட்டானின் அருகே செல்லும் சந்தர்ப்பங்கள் மிகவும் அருகியே (Rare) காணப்படும். தூரம் அதிகமாக இருந்த போதிலும் தூரத்திற்கேற்றவாறு விசைகளின் அளவு மெதுவாகக் குறைந்தால்—எடுத்துக்காட்டாக, மின்னூட்டங்களிலுள்ளதுபோல்—நியூட்ரான்கள் ஒரு சிறிதாகிலும் ஒதுக்கப்பெறுதல் கூடும். மிக அதிக எண்ணிக்கையில் நியூட்ரான்கள் ஒதுக்கப்பெறுதலை உண்மையில் காணலாம்; ஆனால், ஒதுக்கங்களின் அளவு எப்

பொழுதும் மிகக் குறைவாகவே இருக்கும். உண்மையில், அதிக ஒதுக்கங்கள் அருகியே காணப்பெறும். இதற்கு மாருக, தூரத்திற்கேற்றவாறு விசை மிக அதிக வேகத்தில் குறைந்தால், பெரும்பாலான நியூட்ரான்கள் ஒதுக்கம் அடைவதே இல்லை. ஒதுக்கம் பெற்ற நியூட்ரான்களில்—புரோட்டானுக்கு மிகவும் நெருங்கிச்செல்லும் ஒரு சில மட்டிலும்—சிறிய ஒதுக்கங்களும் பெரிய ஒதுக்கங்களும் ஆகிய இரண்டு வகையுமே ஒரே அளவில் நடைபெறுவதை அறியலாம்.

மின்-கவர்ச்சி, மின்-விலக்கு விசைகளிலிருப்பதைவிட, நியூட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்கும் இடையேயுள்ள விசை தூரத்திற்கேற்றவாறு விரைவாகக் குறைகின்றது என்பதை இத்தகைய சோதனைகள் எடுத்துக்காட்டியுள்ளன. அளவீடுகளின் திருத்தத் தரம் (Degree of accuracy) இன்னும் தூர விதியைச் சரியான முறையில் முறைப்படுத்திகூறுவதற்கேற்றவாறு அமையவில்லை. எனினும், 5×10^{-13} செ. மீ. தூரத்தில் இந்த விசை ஏற்கெனவே மிகச் சிறிதாகிக் கொண்டிருக்கின்றது என்று நாம் கூறலாம். இதனுல் புரோட்டானுக்கும் நியூட்ரானுக்கும் இடையிலுள்ள விசை மிக மிகக் குறைந்த வீச்சினைப் (Range) பெற்றுள்ளது என்ருகின்றது; இந்தக் கூறில் மின்விசையினின்றும் இது வேறுபடுகின்றது.

நியூட்ரானின் நிலையாற்றலின் அடிப்படையில் ஆராய்ச்சி:

விசையை ஆராய்வதற்குப் பதிலாக, ஒரு நியூட்ரான் ஒரு புரோட்டானின் புலத்திற்குள் பெற்றிருக்கும் நிலையாற்றலையொட்டி (அல்லது ஒரு புரோட்டான் ஒரு நியூட்ரானின் புலத்திற்குள் பெற்றிருக்கும் நிலையாற்றலையொட்டி) நம்முடைய ஆராய்ச்சியை அமைக்கலாம். தூரம் மிக அதிகமாக இருக்கும் பொழுது, நாம் இந்த ஆற்றலின் அளவை நம் விருப்பப்படி O என்று குறிப்பிடுவோம். குறிப்பிட்ட தூரங்களில் அஃது எதிர் அளவினைப் (Negative magnitude) பெற்றுள்ளது.

குறிப்பிட்ட வீச்சின் காரணமாக, மிகக் குறைந்த தூரத்தைத்தவிர மற்ற எந்தத் தூரத்திற்கும் நிலையாற்றல் நடைமுறையில் O-மாக உள்ளது. படம்-15, தூரம் r-இன் சார் பலனாகக் கொண்ட நிலையாற்றலின் கிட்டத்தட்ட சரியான வளைவரையைக் காட்டுகின்றது. இந்த ஆற்றல் உயர்ந்த எதிர் அளவுகளிலிருந்து O-யத்தின் பக்கத்தை அடையும் வரையில் மிக விரைவாக அதிகரிக்கின்றது; அதன்பிறகு அஃது அஸிம்டோட்டாகப்[2] போகின்றது. குறைந்த தூரங்களைக் கூறுங்கால், ட்யூடெரானின் பொருண்மைக் குறைவிலிருந்து நிலையாற்றல் வளைவரை (Potential energy curve) நேரல் முறையில் (Indirectly) கணக்கிடப் பெறலாம். அதன் நிலையாற்றலுடன், அந்த அமைப்பு ஓர் இயக்க ஆற்றலையும் பெற்றுள்ளது. காரணம், புரோட்டானும் நியூட்ரானும் தொடர்ந்தாற்போல் இயக்க ஆற்றல் நிலையாற்றலாகவும், நிலையாற்றல் இயக்க ஆற்றலாகவும் மாற்றம் அடைந்து கொண்டு ஒன்றுடொன்று பரிமாற்ற முறையில் அதிர்ந்து கொண்டே உள்ளன. இந்த ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகை எப்பொழுதும் அதன் பிணைப்பாற்றல் 2.2 Mev க்குச் சமமாகவே இருக்கும்;இஃது படம் 15-இல் இது ஒரு கிடைக்கோடாகக் (Horizontal line) காட்டப்பெற்றுள்ளது. எடுத்துக்காட்டாக, ட்யூடெரானின் குறுக்களவிலிருந்து உறுதிப்பாடின்மை விதியையொட்டி (Uncertainity principle), இயக்க ஆற்றலின் சராசரிஅளவு மதிப்பிடப்பெறலாம். ஒருகுறுக்களவினைக் கொண்ட சரியான இடத்திலுள்ள் இப்பொருளைப் பற்றியதிருத்தமான நம் அறிவு அதன் நேர்வேகத்தைப்பற்றிய ஓரளவு விகிதசமமாகவுள்ள நம்முடைய திருத்தமற்ற அறிவுடன் கைகோத்துச் செல்லுகின்றது; அதன் பாதிப் பொருண்மையை நேர்வேக மடக்கெண்ணால் பெருக்க, அதன் சராசரி

---

2. Asymtotically-அஸிம்டோட்டாக. 'ஒரு வளைவரையை அணுகுவதும், ஆனால் ஒரு முடிவுடைய தூரத்திற்குள் (Finite distance) அதை அடையாததுமான நிலையிலுள்ள கோடு 'அஸிம்டோட்டாகப் போகிறது' என்று சொல்லப்படும்.

இயக்க ஆற்றலின் அளவு கிடைக்கின்றது. இயக்க ஆற்றலும் மொத்த ஆற்றலும் நமக்குத் தெரிந்தால், அவற்றினின்றும் நிலையாற்றலை நாம் கணக்கிடலாம். படம்-15 இந்த இயல்பைப்பற்றி மேற்கொண்ட ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக எழுந்ததாகும்.

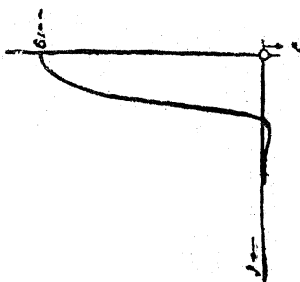
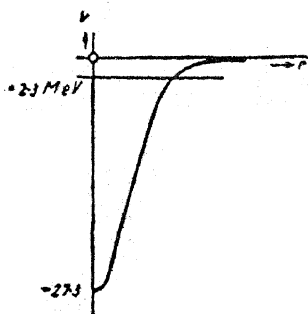
வலுவெண் விசைகள் என வழங்கும் வேதியியல் வகைகள்:

குறைவான வீச்சினையுடைய விசைகள் இயற்கையில் வேறு இடங்களிலும் இருப்பதாக அறியப்பெற்றுள்ளன; மிக மிகமுக்கியமான எடுத்துக்காட்டு 'வலுவெண்கள்' (Valencies) எனப்படும் வேதியியல் விசைகளாகும் (துருவ இணைப்பு என வழங்கப்பெறுவதுபற்றி நாம் கூறுதவரை); அஃதாவது, ஒரு நீரின் மூலக்கூறில் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களை ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவுடன் பிணைக்கும் விசைகளாகும். இந்த விசைகளும் குறுகிய வீச்சினையுடையவையே; இந்த விசைகள் அணுக்கள் நேரடியாகப் பொருத்தமுற்றிருந்தால்தான் உண்மையில் செயற்படும்; ஆனால், அணுக்களிடையேயுள்ள தூரம் அதிகரிக்கும்பொழுது இந்த விசைகள் மிகமிகச் சிறியனவாகின்றன.

மின்-விசைகள்:

இந்தக் குறுகிய-வீச்சின் காரணமாகத்தான் மிகப் பளுவான பெரிய அமைப்புக்களில் (Macroscopic structures) நாம் வேதியியல் விசைகளையோ அல்லது அணுக்கரு விசைகளையோ காண்பதில்லை; ஆனால், யாதொரு வித சங்கடமுமின்றி மின் விசைகள் அல்லது காந்த விசைகள் புலனாகின்றன. இரண்டு காந்தத் துருவங்களுக்கிடையேயுள்ள விசை காந்தத்தை வைத்திருக்கும் கையினால் உணரப்படுகின்றது; நாம் அதிக மின் விசையுள்ள ஆய்கருவியை அணுகும் பொழுது, நம்முடைய உரோமங்கள் செங்குத்தாகச் சிலிர்த்து நிற்பதைக் காணலாம். ஆனால், வேதியியல் விசைகளை இம்மாதிரி

யாக நேர் முறையில் காண இயலாது; காரணம், அவை மூலக்கூறு தூரங்களில் (Molecular distances) மட்டிலுமே செயற்படக்கூடியவை. அணுக்கரு விசைகளுக்கும் இது பொருந்தும்; அணுக்கரு நிகழ்ச்சிகளிலன்றி அவற்றை வேறெங்கும் காணமுடியாது.

ஒரு புரோட்டானுக்கும் ஒரு நியூட்ரானுக்கும் இடையில் இயங்கும் விசைபற்றி ஓரளவு பொதுவான கருத்தை ஏற்

படம்—15: நியூட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்கும்இடையிலுள்ள விசையின் மின் அழுத்தத்தைக்காட்டுவது.

படம்—16: புரோட்டானுக்கும் புரோட்டானுக்கும் இடையிலுள்ள மின்அழுத்தத்தைக் காட்டுவது.

கெனவே இந்நிகழ்ச்சி நமக்கு அளித்துள்ளது. ஆனல், இரண்டு புரோட்டான்களுக்கிடையேயுள்ள விசையின் இயல்பு என்ன?

புரோட்டான்களுக்கிடையேயுள்ள விசை:

தொடக்கத்தில், நாம் மின்சார விலக்கு விசை மட்டிலும் அவற்றினிடையே இயங்குவதாகக் கருதலாம்; காரணம் புரோட்டான்களுக்கும் நியுட்ரான்களுக்கும் இடையேயுள்ள

விசை மட்டிலும் அணுக்கருவின் அண்மைப் பிணைவை (Nuclear cohesion) விளக்குவதற்கும், அசையாநிலையில் அணுக்கருப் பொருள் கிட்டத்தட்டச் சம எண்ணிக்கையுள்ள புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் கொண்டுள்ளது என்பதை விளக்குவதற்கும் போதுமானது. ஏனெனில், புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையில் மட்டிலும் ஏதாவது ஒரு விசை செயற்பட்டால், முதலில் சமச்சீர் ஏற்கெனவே உறுதிப்படுத்தப்பெறும். ஆனல், புரோட்டான்கள் புரோட்டான்களால் ஒதுக்கம் அடைதல்பற்றிய அனுபவம் ஒரே வித துகள்களுக்கிடையில் கவர்ச்சி விசைகள் செயற்படுகின்றன என்பதை மெய்ப்பிக்கின்றது; அஃதாவது, இந்த விசைகள் புரோட்டான்களிடையே மட்டுமன்றி நியூட்ரான்களிடையேயும் செயற்படுகின்றன; இந்தக் கவர்ச்சி விசைகள் புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையேயுள்ள கவர்ச்சி விசைகளுக்குக் கிட்டத்தட்டச் சமமாக உள்ளன. இரண்டு புரோட்டான்கள் உள்ளபொழுது நிலைமை மிகவும் சிக்கலாகவுள்ளது. ஏனெனில், மின்சார விலக்கு விசை அணுக்கருவின் கவர்ச்சி விசையின்மீது பொருத்தப்பெறுகின்றது. ஆனல், மிகக் குறைந்த தூரங்களைப் பொறுத்தவரையில், அணுக்கரு விசையைவிட விலக்கு விசை மிகவும் பலமற்று இருக்கின்றது. ஆகவே, இதில் நடைமுறையில் உட்கரு விசைதான் செயற்படுகின்றது. எனினும், மின்விசை தன்னுடைய நீண்ட வீச்சின் (Long range) காரணமாக அணுக்கரு விசையின் இயக்கம் நின்று நீண்ட நேரத்திற்குப் பிறகும் தொடர்ந்து காணப்பெறுகின்றது. ஒரு புரோட்டான் மற்ருெரு புரோட்டானிடமிருந்து பல்வேறு தூரங்களில் இருக்கும்பொழுது அதன் நிலையாற்றலின் விளக்கப் படம் (Diagram) ஒன்று வரைந்தால், அது கிட்டத்தட்ட படம்-16 ஐப் போன்று காணப்பெறும். உண்மையில், 5×10^{-13} செ. மீ. தூரம் வரையில், அந்தப் படம் முற்றிலும் படம் 15 துடன் பொருந்துவதாக உள்ளது. எனினும், அந்த நிலையிலிருந்து, நிலையாற்றல் அஸிம்டோட்டாக 0-யத்தை அணுகுவதில்லை;

ஆனால், அது O-யத்தின் வழியாகச் சென்று, நேர் அளவில் அதிகமாகி அதன் பிறகு அஸிம்டோட்டாக O-யத்தை நோக்கி இறங்குகின்றது. இரண்டு புரோட்டான்களுக்கும் இடையே, நாம் 'மின் அழுத்த அரண்' (Potential barrier) என வழங்கும் தடையொன்று உள்ளது; இதன் மாதிரி யொன்று திரும்பத்திரும்பப் பின்னால் ஆராயப்பெறும்.

இதுகாறும் கூறியதனைக்கொண்டு, தனித் தனியாகவுள்ள இரண்டு புரோட்டான்கள் ஒன்றோடொன்று பிணையக்கூடிய நிலையொன்று உள்ளது என்பதை ஊகிக்கலாம்; அஃதாவது, அவற்றினிடையேயுள்ள தூரங்கள் மிகச் சிறியனவாக இருக் கும்பொழுது, அணுக்கருவின் கவர்ச்சி விசை மின்சார விலக்கு விசையை வென்றுவிடுகின்றது. ஆனால், இந்நிலை எப் பொழுதுமே நேரிடுவதில்லை. முன்னரே குறிப்பிட்டவாறு, ஒன்றோடொன்று பிணைந்துள்ள இரண்டு துகள்கள் ஒன்றோ டொன்று உறவுமுறையில் சதா அதிர்வடைகின்றன. மிகக் குறைந்த ஆற்றலுள்ள பொது நிலையிலும் அல்லது(அசையா நிலையிலும்) இதே நிலைதான் நிலவுகின்றது. இந்தப் 'பூச்சிய-நிலைஅசைவு(Zaro point vibration)மிக ஆற்றல் வாய்ந்ததாக இருப்பதால் தனிப்பட்ட புரோட்டான்களுக்கிடையே நிரந் தரமான பிணைப்பு இருப்பது சாத்தியமில்லை. ஆனால், புரோட்டான்களுக்கிடையேயுள்ள கவர்ச்சி மிகச் சிக்கலான அணுக்கருக்களில் மிக முக்கிய பங்கினைப் பெறுகின்றது என் பது உறுதி.

ஆகவே, நாம் இப்பொழுது மொத்தத்தில் அணுக் கரு விசைகளைப்பற்றிய முழுவதும் தழுவிய கருத் தைப் பெற்று விட்டோம். நியூட்ரானுக்கும் புரோட் டானுக்கும் இடையேயுள்ள கவர்ச்சி விசைதான் இவற் றுள் மிக முக்கியமானது. மேலும், இரண்டு புரோட்டான் களுக்கிடையில் அல்லது இரண்டு நியூட்ரான்களுக்கிடையில் இதே அளவுள்ள விசையொன்று செயற்பட்டுக்கொண்டுள் ளது. இந்த அணுக்கரு விசைகளின் செயற்படும் வீச்சு,

தூரத்திற்கேற்றவாறு வேகமாகக் குறைகின்றது; இந்தத் தன்மையில் அவை வேதியியல் வலுவெண் விசைகளை ஒத் துள்ளன; இந்த வலுவெண் விசைகளும் மிகக் குறைந்த வீச் சினையே பெற்றுள்ளன.

(II) அணுக்கரு விசைகள் பரிமாற்ற விசைகளே

அணுவின் துகள்களும் மின்புலமும்:

மின் விசைகளைப்பற்றிப் பேசுங்கால் மேற்கொண்டது போலவேநம்முடைய வினாக்களை முறைப்படுத்திக்கூறுவோம். எனவே, நம்முடைய முதல்வினா இது: மின் விசைகளை ஃபோட் டான்களுடன் தொடர்புபடுத்துவதுபோலவே, அணுக்கரு விசைகளைத் துகள்களுடன் தொடர்புபடுத்தவல்ல ஏதாவது ஒப்புடைமை (Analogy) உள்ளதா? இதை நம் நோக்கமாகக் கொண்டு மீண்டும் ஒரு முறை இந்நூலின் 95-வது பக் கத்திலுள்ள அட்டவணையை ஆராய்வோம். அணுவின் புறத் தமைப்பின் அடிப்படைக் கூறுகள் எலக்ட்ரான்கள்; அவை அணுக்கருவுடன் மின்புலத்தினால் பிணைந்துள்ளன. இந்தப் புறத்தமைப்பில் ஒரு சில மாற்றங்கள் நேரும் பொழுது, இந்த மின்புலம் அணுவால் வெளிவிடப்பெறும் ஃபோட்டான்களுடன் தொடர்புபடுத்தப்பெறுகின்றது. நியூட்ரான்களும் புரோட்டான்களும் அணுக்கருவின் அடிப் படைக் கூறுகளாகும்; அவை அணுக்கருப் புலத்தினால் பிணைக்கப்பெற்றுள்ளன; இதில் மின்புலம் உடைப்பினை விளை விக்கும் (Disruptive) கூறேயன்றி பிணைவுபடுத்தும்(Binding) கூறு அன்று. இங்கும், நிலைமாற்றங்களின் விளைவாக அணுக் கருவினால் வெளிவிடப்பெறும் துகள்கள் உள்ளன; இதில் பல்வேறு வித துகள்களை வேறுபடுத்தி அறிதல்வேண்டும். முதலாவதாக, காமாக் கதிர்கள் அல்லது ஃபோட்டான்கள் உள்ளன. அணுவின் புறத்தமைப்பில் உண்டாகும் ஃபோட் டான்களைப்போலவே, அணுக்கருவிலும் இந்த ஃபோட்டான்

கள் மின் புலத்துடன் தொடர்புபடுத்தப்பெறுகின்றன. இவற்றுடன் அணுக்கரு உருமாற்றங்களால் வெளிவிடப் பெறும் எலக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான்களும், அவற்றுடன் சேர்ந்துவரும் நியூட்ரினோக்களும் உள்ளன. பல கூறுகளில் நியூட்ரினோக்கள் ஃபோட்டான்களைப் போன்றவை. ஆயின், ஒரே ஒரு வேறுபாடு உண்டு; நியூட்ரினோக்கள் h/2 அளவு கோணத் திருப்பு திறனைப் (Angular momentum) பெற்றுள்ளன; ஆனால், ஒரு ஃபோட்டானின் கோணத்திருப்பு திறன் O அல்லது h ஆக இருக்கும்.

அணுவின் புறத்தமைப்பிலுள்ள மின்புலத்துடன் வெளிவிடப்பெறும் ஃபோட்டான்களுடன் தொடர்புகொண்டுள்ள ஒரு முறையைப்போலவே, மேற்கூறிய துகள்கள் வெளிவிடப்பெறுதலும் அணுக்கரு விசைப் புலத்துடன் தொடர்புகொண்டுள்ளது என்று கருதுவது காரண காரிய முறைக்கு உகந்ததாகக் காணப்படுகின்றது. ஆனால் எலக்ட்ரான்கள், பாசிட்ரான்கள், நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் காரணமாகத் தான் நியூட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்கும் இடையேயுள்ள விசை கடத்தப்பெறுகின்றது என்பதாக அத்தகைய ஒப்புமை பொருள்படும். ஒரு சில துகள்கள் ஒரு புலத்துடன் இம்மாதிரி தொடர்புடனிப்ருபதைக்கொண்டு அப்புலமே அத்தகைய துகள்களாலாக்கப்பெற்றது என்று தவறாகப் பொருள்கொண்டு விடலாகாது. 'ஆக்கப்பெற்றுள்ளது' ('Composed of') என்ற தொடர் எப்பொழுதும் மேற்படி புலம் அத்தகைய துகள்களால் ஈடு செய்யப்பெறலாம் என்று கருத இடந்தருகின்றது. எனினும், உண்மையில், புலமும் துகள்களும் ஒரே பொதுமைக் கருத்தின் வெவ்வேறு கூறுகளே என்று கூறலாம்; ஏற்கெனவே, அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பைப்பற்றி ஆராய்ந்தபொழுது இதைக் குறிப்பிட்டுள்ளோம்.

அணுக்கருப் புலம்

இந்நிலையை மிகச் சரியாக இவ்வாறு கூறலாம்: அணுக்கருப் புலம் என்ற ஒரு புலம் உள்ளது. அமைதியான நிலை

களில் இந்த அணுக்கருப் புலம் தன்னுடைய மையத்திலிருந்து தொடர்ந்தாற்போல் உறைப்பு குறைந்துகொண்டு செல்லும் ஒருகுறுகியவீச்சுப் புலக்கூறினைமேற்கொள்ளுகின்றது; அதுவே அமைதியற்ற செயல்களில் ஓர் அலைக்கதிர் வீச்சல்கூறினைப் பெறுகின்றது. உற்று நோக்குவதற்கு மேற்கொள்ளப்பெறும் முறைக்கேற்றவாறு பின்னது அலைக் கதிர் வீசலாகவோ, அன்றி துகள்களாகவோ கண்டறியப்பெறலாம். ஓர் எலக்ட்ரான் மற்றோர் எலக்ட்ரான்மீது செலுத்தும் விசையை இரண்டு வழிகளில்—முதலில், அலைகளின் மூலமாகவும், அதன் பிறகு துகள்களின் மூலமாகவும்—விவரித்து, இதனை நாம் நன்கறிந்த மின்புலத்துடன் ஒப்பிட்டு விளக்க முயலுவோம்.

எலக்ட்ரான் உண்டாக்கும் மின்புலம்:

முதலாவதாக, ஓர் எலக்ட்ரான் தன்னைச் சுற்றிலும் ஒரு மின்புலத்தை உண்டாக்கிக் கொள்ளுகின்றது என்றும், இந்த மின்புலம் மாக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளுக்கிணங்கப் பரவுகின்றது என்றும் நாம் கூறுவோம். இந்தப் புலம் வேறொரு எலக்ட்ரான்மீது பட்டு அதனிடத்தில் ஒரு விசையை உண்டாக்கலாம்; மற்றொரு கூறின் அடிப்படையில் இதையே இவ்வாறு கூறலாம்: ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு துகளினை—ஃபோட்டானை—உண்டாக்குகின்றது; இந்த ஃபோட்டான் அதன் பிறகு மற்றோர் எலக்ட்ரானால் உட்கவரப்பெறுகின்றது. இவ்வாறு, முதலாவதாகக் குறிப்பிடும்பொழுது 'ஒரு புலம் உண்டாதலையும்' இரண்டாவதாகக் குறிப்பிடும்பொழுது 'ஒரு துகள் உண்டாதலையும்' நாம் பேசுகின்றோம்; முதற் கூறில் 'ஒரு புலத்தின் செயல்' என்பதையும், இரண்டாவது கூறில் 'ஒரு துகளினால் ஓர் ஃபோட்டான் உட்கவரப்பெறுதல்' என்பதையும் சுட்டுகின்றோம். இந்த நிகழ்ச்சிகளின் நிலையை அடியிற் கண்டவாறு அமைப்பு முறையில் (Schematically) வகைப்படுத்தி உணர்த்தலாம்:

அலைக் கூறு: எலக்ட்ரான் புலத்தைப் படைக்கின்றது; புலம் மற்றோர் எலக்ட்ரான்மீது படுகின்றது.

துகள் கூறு: எலக்ட்ரான் ஃபோட்டானை வெளிவிடு கின்றது; ஃபோட்டான் மற்றோர் எலக்ட்ரானால் உட்கவரப் பெறுகின்றது.

இரண்டு கூற்றுக்களும் ஒரே நிகழ்ச்சியைத்தான் விவரிக் கின்றன. மின்புலங்களைப்பற்றிப் படித்த ஒவ்வொருவருக் கும் முதற் கூற்று மிகவும் பழக்கப்பட்டதாக இருக்கும். இரண் டாவது கூற்று பெரும்பாலோருக்குப் பழக்கப்படாததாகவே இருக்கும். ஏனென்றால், தொழில் துறை சார்ந்த அறிவியலி லும் பேரண்டத்தைக் கூறும் பௌதிக இயலிலும் (Macros-copic physics) ஃபோட்டான்களுடன் தொடர்பு கொண்ட தாகவுள்ள மின்புலத்தைப்பற்றிக் கருதுவது எப்பொழுதும் தேவையற்றதாகும். எனினும், அணு நிபந்தனைகளின்படி இஃது அடிக்கடி பயன்படக்கூடிய வழிதுறையாக அமைகின் றது. அணுக் கதிர்வீசலைப் பொறுத்தவரை, கோள வடிவ அலைகள் என்று பேசுவதைவிட ஃபோட்டான்கள் என்று பேசு வதே மிகவும் வசதியாக வுள்ளது.

புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையே செயற்படும் விசைகள்:

இனி, புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் இடையில் செயற்படும் விசைகளைப் பொறுத்தவரையில் சரி யாக இதே வகைச் சொல் முறையை மேற்கொள்ளுவோம். முதலில், இவ்வாறு கூறலாம்: நியூட்ரான் ஓர் அணுக்கருப் புலத்தை உண்டாக்குகின்றது; இந்தப் புலம் புரோட்டானைத் தாக்குகின்றது. அலைக்கூறினைப் பொறுத்தவரையில் இது தான் விவரம். துகள் கூறுபற்றிய துறைச் சொல்லால் உணர்த் தினால் நாம் தரும் விவரம் இதுவாக இருக்கும்: நியூட்ரான் துகள்களை உண்டாக்குகின்றது; இந்தத் துகள்கள் புரோட் டானால் உட்கவரப்பெறுகின்றன. மீண்டும் இதை அடியிற் கண்டவாறு அமைப்பு முறையில் வகைப்படுத்திக்கூறுவோம்.

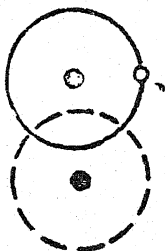
அலைக் கூறு: நியூட்ரான் புலத்தை உண்டாக்குகின்றது; புலம் புரோட்டான்மீது படுகின்றது.

துகள் கூறு: நியூட்ரான் எலக்ட்ரானையும் நியூட்ரினோவையும் வெளிவிடுகின்றது; எலக்ட்ரானும் நியூட்ரினோவும் புரோட்டானால் உட்கவரப்பெறுகின்றன.

நியூட்ரானுக்கும் புரோட்டானுக்கும் இடையே செயற்படும் விசைக்கு இவ்வாறு விளக்கம் கூறி விசையின் செயலுடன் மின்னூட்டத்தின் பரிமாற்றம் தொடர்பு கொண்டிருப்பதைக் காண்கின்றோம். அஃதாவது, இந்த விசையைச் செலுத்துவதற்கு நியூட்ரான் ஓர் எலக்ரானையும் நியூட்ரினோவையும் வெளிவிட வேண்டுமானால், அதன் மின்னூட்டம் மாற்றப்பெறுகின்றது; அது புரோட்டானாக மாறுகின்றது. இதன் மறுதலையாக, புரோட்டான் ஓர் எலக்ட்ரானையும் ஒரு நியூட்ரினோவையும் உட்கவர்வதனால், அஃது ஒரு நியூட்ரானாக மாறுகின்றது. ஒரு புரோட்டான் ஒரு பாசிட்ரானையும் ஒரு நியூட்ரினோவையும் வெளிவிடும்பொழுது இதைப் போன்ற மிகச் சரியான மாற்றமே நிகழலாம்; இந்த இரண்டு துகள்களும் நியூட்ரானால் உட்கவரப்பெறுகின்றன.

பரிமாற்ற விசைகள்:

எனவே, அணுக்கரு விசைகள் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களின் பரிமாற்றத்துடன் உறவு கொண்டுள்ளன; இக்காரணத்தினால் இந்த வகை விசைகள் 'பரிமாற்ற விசைகள்' (Exchange forces) என்று வழங்கப்பெறுகின்றன. அவை மிகவும் நூதனமான பண்புடனுள்ளன; அவற்றின் சிறப்புக் கூறின் காரணமாகவே, அவற்றின் செயல் இரண்டு பங்காளி (Partners) களுக்கிடையேயுள்ள செயல்களின் பரிமாற்றத்துடன் தொடர்புபடுத்தப்பெறுகின்றன. ஆதலின், இந்த முறையில் அவை மின்விசைகளினின்றும் முற்றிலும் வேறுபடுகின்றன. ஆனால், வேதியியல் விசைகளுடன் கொண்டுள்ள உறவு முறை மீண்டும் வெளிப்படையாக உள்ளது. பொதுவாக வேதியியல் விசைகளும் பொதுவாகப் பரிமாற்ற விசை

களாகக் கருதப்பெறலாம் என்று ஏற்கெனவே குவாண்டக் கொள்கை காட்டியுள்ளது. ஏனெனில், வேதியியல் விசை களிலும்கூட இத்தகைய மின்னூட்டங்களின் பரிமாற்றம் நிகழ்கின்றது. இதன் மிக எளிய எடுத்துக்காட்டு ஹைட் ரஜன் மூலக்கூறின் அயனியாகும்; இந்த அயனியில் ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவும் ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுக்கருவும் அடங்கியுள்ளன. (படம் 17). ஆகவே, உண்மையில் அஃது

படம்—17: ஹைட்ரஜன் மூலக் கூறின் அயனியைக் காட்டுவது.

இரண்டு புரோட்டான்களைக் கொண்ட ஓர் அமைப்பாகும்; அந்தப்புரோட்டான்களை ஓர் எலக்ட்ரான் சுற்றிக்கொண்டுள் ளது. இந்த அயனி ஒரு நிலைத்த அமைப்பு; அதை ஒன்ருகச் சேர்த்து வைக்கும் விசையாகிய ஓர் எலக்ட்ரான், ஒரு சமயம் ஒருபுரோட்டானையும், பிறிதொரு சமயம் இன்னொரு புரோட் டானையும் சுற்றி வருவதனுல் உண்டாவது. இதிலும் கூட, நாம் மின்னூட்டப் பரிமாற்றத்துடன்—எலக்ட்ரான் ஒரு புரோட்டானிலிருந்து பிறிதொரு புரோட்டானுக்கு மாறு தல்—விசை தொடர்புகொண்டிருப்பதைக் கண்ணுறுகின் ருேம்.

பரிமாற்ற விசையை விளக்கும் சோதனை:

'பரிமாற்ற விசை' என்ற பொதுமைக்கருத்தினை அடியிற் காணும் சோதனையின் அடிப்படையில் இன்னும் மிக எளிதாக உணரலாம். இந்தச் சோதனை 1948-இல் கலிஃபோர்னி யாவில்[3]பெரிய லாரென்ஸ் சைக்லோட்ரான் (Cyclotron) என்ற

---

[3] கலிஃபோர்னியா-Colifornia.

கருவியினைக்கொண்டு செய்யப்பெற்றது(படம்-37).பேராற்றலைக்கொண்ட நியூட்ரான்கள் முகில் அறையில் புரோட்டான்களைக் எதிர்த்து வீசி எறியப்பெறுகின்றன. மோதலுக்குப் பிறகு முகில் அறையில் புரோட்டான்களின் சுவடுகள் கண்ணுக்குப் புலனுகின்றன. ஒரு சாதாரண விசையாக இருந்தால் மிக அதிகமான நியூட்ரான்கள் மிகக் குறைந்த அளவு ஒதுக்கம் பெறுவதை எதிர்பார்க்கலாம். ஆனுல், புரோட்டான்கள் முன்பு இருந்ததைவிட குறைந்த வேகத்துடன் நியூட்ரானின் பாதைக்கு 90°-இல் வீசி எறியப்பெறும். பெரும்பாலான மோதல்களில், நியூட்ரான் கிட்டத்தட்ட 9 °-இல் ஒரு பக்கமாக வீசிஎறியப்பெறும்பொழுது, எதிர் நோக்கி வந்து கொண்டிருக்கும் நியூட்ரான்களின் சுவடுகள் வழியாகப புரோட்டான்கள் (நியூட்ரான்கள் உண்மையில் புரோட்டான்களாக மாற்றப்பெற்றுவிட்டதால்)தொடர்ந்து செல்ல வேண்டும். இதைத்தான் நாம் உண்மையில் முகில் அறையில் சரியாகக் காண்கின்ருேம். படம்-17 (A) புரோட்டான்களின் சுவடுகளைக் காட்டுகின்றது; அவற்றுள் பெரும் பாலானவை கிட்டத்தட்ட ஒரு நேர்ப்பாதையில் எதிர் நோக்கி வந்துகொண்டிருக்கும் நியூட்ரான்கள் செல்லும் திசையில் பறந்து செல்லுகின்றன. அவற்றின் ஆற்றலுக் கேற்றவாறு அவற்றின் சுவடுகளை ஒரு காந்தப்புலம் ஏறக் குறைய பலமான வளைவரைகளாக (Strongly curved) ஆக்கு கின்றது (45°க்குக் குறைந்த அளவில் சாய்ந்திருக்கும் நேர்க் கோர்டுகள் முகில் அறையில் ஒரு மெல்லிய கம்பியாலான வலைக்கண் சல்லடையால் உண்டாக்கப்பெறுகின்றன).

எனினும், இந்நிலை நாம் காட்டியவாறு முற்றிலும் அவ்வளவு எளிதானதன்று. அணுக்கரு விசை, மின் விசை இவற்றின் ஒப்புடைமைநாம்கருதுகின்றவாறு இருப்பின்,ஓர்அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பில் ஒரு ஃபோட்டான் வெளியாகும் நிகழ்ச்சியினை அறுதியிடுவதற்கு மேற்கொள்ளும் முறையினைப் போன்ற ஒரு முறையில் நாம் பீட்டாச் சிதைவு நிகழ்ச்சியினையும் காணலாம். ஓர் அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பு கிளர்ந்த

நிலையில் இருக்கும்பொழுது, அதில் ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் ஓர் ஒளிக்கதிர் வெளிவிடும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஏற்படுகை நிலவுகின்றது. 'ஒரு குறிப்பிட்ட ஏற்படுகை' (Certain probability) என்ற சொற்றொடரால், நாம் குறிப்பது இது; அலைக்கூறினைப் பொறுத்தவரையில், எலக்ட்ரான்களின் தொடர்ந்த இயக்கம் ஓர் அலைக்கதிர் வீசல் வெளிப்படுவதற்குக் காரணமாகின்றது. துகள்கூறினைப் பொறுத்தவரையில், ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் ஒரு ஃபோட்டான் வெளிவிடும் சந்தர்ப்பம் ஏற்படுகின்றது. இந்நிலையின் இரண்டு நோக்கங்களும் வெளிவிடப்பெறும் அலையின் உறைப்பிற்கேற்றவாறு (Intensity) கதிர்வீசல் உண்டாகின்றது என்ற உண்மையினால் தொடர்புபடுத்தப்பெறுகின்றது. அலை எவ்வளவுக்கெவ்வளவு வன்மையாக உள்ளதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு கதிர்வீசல் ஏற்படுகையும் அதிகமாக இருக்கும்; கிளர்ந்த நிலையும் குறுகிய காலத்திற்குத்தான் இருக்கும். ஆகவே, கிளர்ந்த நிலையின் கால அளவு எலக்ட்ரான்களின் அதிர்வு வீச்சினைப் (Amplitude of the vibration) பொறுத்துள்ளது.

யூக்காவா.

எனவே, ஒரு நிலையற்ற-பீட்டா அணுக்கருவின் ஆயுட்காலம் அதிலிருந்து வெளிப்படும் அலைக் கதிர்வீசலின் உறைப்பைப் பொறுத்துள்ளது. ஆனால், மேற்கூறிய ஆராய்ச்சிகளின் அடிப்படையில் இதைக் கணக்கிட்டால் உண்மையில் சோதனை மூலம் அறிந்த ஆயுட்காலங்களைவிட மிகக்குறைந்த ஆயுட்காலங்களையே அடைகின்றோம். எனவே, இந்நிலையில் இன்னும் ஒரு பொருந்தாமை (Discrepancy) நிலவுகின்றது; இதை யுணர்ந்த யூக்காவா[4] என்ற ஜப்பானிய அறிவியலறிஞர் சிறிது மாறுபாடுள்ள ஓர் கொள்கையைக் கண்டறிந்தார்.

4. யூக்கா வா-Yukawa

யூக்காவா கொள்கை :

அணுக்கருப் புலத்திற்கும் எலக்ட்ரான்கள், பாசிட்ரான்கள், நியூட்ரினேக்கள் ஆகியவற்றிற்கும் இடையே வேறு இனத்தைச் சேர்ந்த துகள்கள் உள்ளன என்று கருதுகின்றார் யூக்காவா: இத்துகளைத் தற்காலிகமாக நாம் 'யூக்காவா துகள்' (Yukawa particle) என வழங்குவோம். இந்த யூக்காவா துகள்கள் எலக்ட்ரானின் பொருண்மையைப்போல் பல நூறு மடங்கு பொருண்மையைப் பெற்றிருக்க வேண்டும் என்றும், அவை நேராகவோ, அன்றி முடிவாக விளைவினை உண்டாக்கும் பிற சிதைந்தழிவுச் செயல்களின் மூலமாகவோ எலக்ட்ரான்களாகவும், பாசிட்ரான்களாகவும் நியூட்ரினேக்களாகவும் சிதைந்தழியக் கூடியவை என்றும் ஊகிக்கப்பெறுகின்றன. ஆகவே, அணுக்கரு உரு மாற்றங்களில் யூக்காவாவின் கொள்கைப்படி, அத்தகைய யூக்காவா துகள் உண்மையில் வெளிவிடப் பெறுதல் வேண்டும். என்றபோதிலும், அவ்வாறு நிகழ்வதில்லை; ஏனெனில், யூக்காவா துகள் மிகப் பெரிய நிலைப் பொருண்மை (Rest mass) யுடையது; அஃது உண்டாவதற்குரிய ஆற்றல்— mc^2—கிடைப்பதில்லை. ஆனல், யூக்காவா துகள் (நேர்முறையிலோ அல்லது வேறு செயல்களின் மூலம் நேரல் முறையிலோ) எலக்ட்ரான்களாகவும் நியூட்ரினேக்களாகவும் சிதையக்கூடும்; சில சமயம் அத்துகள்கள் உண்டானவுடனேயே இச் சிதைதல் நிகழ்ந்துவிடுகின்றது; ஆகவே, இலேசான துகள்களாகிய எலக்ட்ரானும் நியூட்ரினேவும் உண்டாவதற்குத் தேவையான ஆற்றலைத் தருவதற்கு அது போதுமானது. எனவே, இக் கொள்கைப்படி அணுக்கரு உருமாற்றம் அடையும் செயல் பல படிகளில் (Several steps) நடைபெறுகின்றது. முதலாவதாக, அணுக்கருப்புலத்திலிருந்து யூக்காவா துகள் உண்டாகின்றது;— அல்லது இன்னும் சரியாகச் சொன்னல், அணுக்கருப்புலமே யூக்காவா துகளுடன் முற்றிலும் பொருந்துகின்றது; அத்

துகள் தான் உண்டாவதற்குத்தேவையான ஆற்றல் இல்லாக் காரணத்தால், ஒரு துகளாகப் பரிணமிக்கின்றதில்லை. அதற்குப் பதிலாக, அஃது உண்டானவுடனேயே, அஃது எலக்ட்ரான்களாகவும், நியூட்ரினோக்களாகவும் சிதைகின்றது; இந்த இரண்டு வகைத் துகள்களே அணுக்கருவினின்றும் வெளியேறுகின்றன.

π-துகள்கள் :

இக்கொள்கையை நாம் நடைமுறைக்குகந்த கருதுகோளாக (Working hypothesis) ஏற்றுக்கொண்டால்—நம்பக் கூடியதாகச் செய்வதற்கு ஏற்றுக் கொள்ளத்தக்கவை அதில் அதிகம் உள்ளன—யூக்காவா துகள்கள் ஒருக்கால் ஏற்கெனவே அண்டக் கதிர்வீசலில் காணப்பெற்ற சில வகைத் துகள்களுடன் முற்றிலும் பொருந்துகின்றனவா என்றவினா எழுகின்றது. உண்மையில், அண்மையில் மேற்கொள்ளப்பெற்ற பெரும்பாலான பரிசோதனைகள் யூக்காவா துகள்களின் பங்கினைப் பவல்[5] என்பரால் கண்டறியப்பெற்ற பளுவான மேசான்கள் (Heavy mesons) (அல்லது π-துகள்கள்) — எப்படியிருந்த போதிலும் ஒரு பகுதியாவது—புரிகின்றன என்பதை மிகவும் நம்புமாறு செய்கின்றன; ஏனெனில், மிகப்பெரிய ஆற்றலுடன் கூடிய அணுக்கருப் பிளவில் (Fission) இந்த π-துகள்கள் அணுக்கருவினின்று வீசியெறியப்பெற்றதாகக் காணப்பெறுகின்றன. π-துகள்கள் (ஏற்கெனவே மூன்றும் இயலின் மூன்றுவது பிரிவில் கூறப்பெற்றவை) ஓர் எலக்ட்ரானைவிட ஏறக்குறைய 275 மடங்கு அதிகக் கனமுடையவை. பவல் என்பார் உற்று நோக்கியபடி, அவை முதலில் இலேசான ஒரு மேசானாகவும், மற்றொரு மின்சாரச் சமனிலைத் துகளாகவும் (ஒருக்கால் இது நியூட்ரினோவாகவும் இருக்கலாம்) சிதைகின்றன. இந்த இலேசான மேசான் (அதன் பொருண்மை எலக்ட்ரானின் பொருண்மையைப்போல் கிட்டத்தட்ட 213

---

5. பவல்-Powell.

மடங்கு உடையது) மீண்டும் ஓர் எலக்ட்ரானாகவும், ஒருக் கால் இரண்டு மின்சாரச் சமனிலைத் துகள்களாகவும் சிதைகின்றது. இங்கு எலக்ட்ரான்களும் நியூட்ரினோக்களும் வெளி விடப்பெறுதல் மிகச் சுற்று வழிகளில் மட்டிலும் உண்டாவதாகக் கருதப்பெறுகின்றது; ஓரளவு இதற்குக் காரணம் யாதெனில், வேறு அணுக்கரு மாற்றங்கள் ஏற்படு நிலையுடன் ஒப்பிட்டு நோக்க, ஒரு பீட்டாச் சிதைந்தழிவு ஏற்படுநிலை மிகமிகச் சிறிதாக உள்ளது.

நாம் உறுதியாக அறிவது :

அணுக்கரு விசைகளுக்கும் அவற்றுடன் தொடர்புள்ளனவாகக் கருதப்பெறும் அடிப்படைத் துகள்களுக்கும் உள்ள உறவுபற்றிய பிரச்சினை மிகச் சிக்கலானது என்பதையும் இந்த ஆராய்ச்சிகள் காட்டுகின்றன; பல்லாண்டுகள் கடந்த போதிலும் இந்தப் பிரச்சினைக்குத் தீர்வு காண முடியாது. இச்சமயத்தில் நமக்கு உறுதியாகத் தெரிவது இதுதான்: பெரும்பாலும் அணுக்கரு விசைகள் யாவும் பரிமாற்ற விசைகளே; நிலைப்பற்ற அடிப்படைத் துகள்களும் உள்ளன; இத்துகள்களின் பொருண்மை ஓர் எலக்ட்ரானின் பொருண்மைக்கும் ஒரு புரோட்டானின் பொருண்மைக்கும் இடைப்பட்டதாகும்; இந்த அடிப்படைத் துகள்கள் ஏதோ ஒரு வகையில் அணுக்கரு விசைகளுடன் உறவு கொண்டுள்ளன. மிகப் பெரிய ஆற்றலைக்கொண்ட அணுக்கருச் சிதைந்தழியும் செயல்கள் இதுகாறும் ஆராயப்பெற்றதைவிட இன்னும் மிகத் திருத்தமாக ஆராயப்பெறும்பொழுதுதான், மேலும் விளக்கம் பெறுவதற்குச் சாத்தியப்படும்.

(III) அணுக்கரு விசைகளின் நிறைவு

வலுவெண் விசைகள்:

மேற்கூறப்பெற்ற ஒப்புடைமை வலுவெண் (Valency) விசைகளுடன் ஒரு முடிவினைக் குறிப்பிடுகின்றது; இம்முடிவினை இங்கு நாம் மெய்ப்பிக்க இயாலாவிடினும், அதனை ஓரளவு நம்பக்கூடியதாகச் செய்யலாம். வலுவெண் விசைக்கும் மின்விசைக்கும் உள்ள ஒரு முக்கிய வேற்றுமை—பலவற்றுள்ளும்—யாதெனில், வலுவெண் விசை நிறைவுபெறத் (Saturation) தக்கதாக உள்ளது. வேதியியல் அறிஞர் ஒவ்வொரு அணுவின் குறியீட்டிற்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள வலுவெண்களைத் தருகின்றூர்; அந்த எண்ணிக்கை அந்தத் தனிமத்தின் வலுவெண்ணுடன் பொருந்துகின்றது. நிறைவுபெற்ற ஒருவேதியியல் கூட்டுப்பொருளின் ஒவ்வொரு அமைப்பு வாய்பாட்டிலும் (Structural formula) அத்தகைய வலுவெண் பிடிகள் (கொக்கிகள்) அணுவின் குறியீட்டில் தொடங்கி மற்றொரு அணுவின் குறியீட்டில் முடிவுபெறும் கோடுகளால் குறிப்பிடப்பெறுகின்றன; இந்த இரண்டாவது அணுக்குறியீட்டிலிருந்து அதன் வலுவெண்ணின் எண்ணிக்கையத்தனைக் கோடுகள் தொடங்குகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, கரியமிலவாயு, (O=C=O), என்பது நான்கு வலுவெண்ணைக் கொண்ட கரி அணுவும் இரண்டுவலுவெண்ணைக் கொண்ட இரண்டு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களும் (Oxygen atoms) சேர்ந்த கூட்டுப்பொருளாகும். இதில் சிறப்பான கூறு யாதெனில், ஓர் அணுவின் வலுவெண் கோடுகள் யாவும் மேற்கொள்ளப்பெற்று விடுவதால், அந்த அணு நிறைவு பெற்றதாகிவிடுகின்றது; அஃதாவது, அஃது அதனுடைய வலுவெண்ணை முற்றிலுல் பயன்படுத்தி விடுகின்றது. எனவே, எடுத்துக்காட்டாக நீரின் மூலக்கூறில் (H—O—H,) ஆக்ஸிஜனின் இரண்டு வலுவெண்களும் ஹைட்ரஜன் அணுக்களால் நிறைவு செய்யப்பெறுகின்றன; இதற்குமேல் ஹைட்ரஜன்

அணுக்கள் சேர முடியாது. ஏறக்குறைய சாதாரணமான OH_3 வகை மூலக்கூறே இல்லை.

நியூட்ரானின் வலுவெண்:

இவ்வாறே அணுக்கரு விசைகள் அல்லது அவற்றின் பெரும்பகுதி முற்றிலும் இம்மாதிரியான நிறைவுபெறும் பண்பைப் பெற்றுள்ளன. ஒரு நியூட்ரான் இரண்டற்கு மேற்படாத புரோட்டான்களுடன் பிணைதல் கூடும்; ஒரு புரோட்டான் இரண்டற்கு மேற்படாத நியூட்ரான்களுடன்பிணைதல் கூடும். இந்த மெய்ம்மையை வலுவெண் கோடுகளின் வடிவில் உணர்த்த விரும்பினால் புரோட்டான் இரண்டு கோடுகளுடன் எழுதப்பெறுதல் வேண்டும்; இக்கோடுகள் நியூட்ரான்களை மட்டிலும் சேர்க்கக்கூடும்; இங்ஙனமே, ஒரு நியூட்ரானுக்கு இரண்டு வலுவெண் கோடுகள் உள்ளன; அவை புரோட்டான்களை மட்டிலும் சேர்க்கக்கூடும். ஏதாவது இரண்டு புரோட்டான்களிடையே, அல்லது இரண்டு நியூட்ரான்களிடையே செயற்படும் விசைகளை நாம் தள்ளுபடி செய்வதால், இது முற்றிலும் சரி என்று சொல்ல முடியாது. ஆயினும், இக்கூற்று உண்மை நிலைகளின் பூர்வாங்க விளக்கம் தருகின்றது. ஏற்கெனவே ஆராய்ந்தவாறு, அணுக்கருக்களின் தனிப்பட்ட அடிப்படைக் கூறுகளின் பிணைப்பாற்றல் அணுக்கருவின் பருமனைப் பொறுத்தன்று என்பதற்கு அணுக்கரு விசைகளின் நிறைவு பெறும் இப்பண்பு விளக்கந் தருகின்றது. ஒரு துகள் ஓர் அணுக்கருவில் அடங்கிவிட்டால் முற்றிலும் மின்விசைகளைப்போலன்றி அஃது அணுக்கரு விசைகளின் மிகச் சிறிய வீச்சின் காரணமாகத் தன்னுடைய மிக அருகிலுள்ள துகள்களுடன் மட்டிலுந்தான் மோதுகின்றன; இரண்டாவதாக, விசைகளின் நிறைவின் காரணமாக, இந்தத் துகள்களும் தனக்கு மிக நெருங்கியுள்ள இரண்டு துகள்களுடன் மட்டிலுந்தான் பிணைந்து கொள்ள முடிகின்றது. அணுக்கருப் பொருளுக்கும் ஒரு திரவத்திற்கும்இடையேயுள்ள ஒப்புடைமைக்கு இது மேலும் காரணத்துடன் கூடிய

விளக்கமாக அமைகின்றது. ஏனெனில், ஒரு திரவத்திலுள்ள அணுக்கள் நெருங்கிப் பிணைவுறுவதற்கும் இத்தகைய விசைகளின் பண்புகள் பொறுப்பாக இருத்தல் காரணமாக, ஒரு திரவத்திலுள்ள அணுக்களுக்கும் இதே விளக்கம் அடிப்படையில் பொருந்துகின்றது.

(IV) அணுக்கருக்களின் நிலைப்புடைமை

ஒரு முக்கியமான முடிவு:

மேற்கூறிய யாவும் ஒரு முக்கியமான முடிவினைக் காட்டுகின்றன: அஃதாவது, 2 என்ற எண்—பொதுவாக, இரட்டைப்படை எண்கள்—அணுக்கருக்களில் ஒரு சாதகமான இடத்தைப் பெறவேண்டும். ஆகவே, நாம் எந்த அணுக்கருக்களில் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் இரட்டைப்படை எண்களாக இருக்கின்றனவோ, அவைதாம் குறிப்பாக நிலைப்புடன் இருக்கும் என்று எதிர்பார்க்கலாம். ஏனெனில், ஒவ்வொரு புரோட்டானும் இரண்டு நியூட்ரான்களுடன் இணைவதாலும், இதற்கு மறுதலையாக, ஒவ்வொரு நியூட்ரானும் இரண்டு புரோட்டான்களுடன் இணைவதாலும், இதில்—இதில் மட்டிலும்—எல்லா வலுவெண்களும் பயன்படுத்தப்பெறக் கூடும். ஆற்றலியலைப் (Energetics) பொறுத்தவரையில், ஓர் ஒற்றைப்படை புரோட்டான் அல்லது நியூட்ரான் வலுவெண்ணைப் பயன்படுத்தாததைவிட இந்நிலை இயல்பாகவே மிகவும் பயனுள்ளதாகவுள்ளது.

பாலின் நீக்க விதி:

ஆனல், 2 என்ற எண்ணின் சாதகமான இடத்திற்கு மற்றொரு காரணமும் உண்டு; அஃதாவது, அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பைப்பற்றி நாம் ஆராய்ந்தபொழுது குறிப்பிட்ட

பாலின் நீக்கவிதியே[6] அது. பொதுவாகக் கூறினால், ஓர் அமைதியான நிலையில்[7] ஏதாவது ஒரு சமயத்தில் ஒரே ஒரு துகளிற்கு மட்டிலுந்தான் இடம் உண்டு என்று இந்த விதி வற்புறுத்துகின்றது. ஓர் எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சி நேர் அளவாகவோ அல்லது எதிர் அளவாகவோ—வலஞ்சுழியாகவோ அல்லது இடஞ்சுழியாகவோ—இருக்கலாம் என்ற மெய்ம்மையைக் கருத்திற்கொண்டு இதை அடியிற்கண்டவாறு உரைக்கலாம்: இரண்டற்கு மேற்படாத எலக்ட்ரான்கள் (எதிரான தற்சுழற்சிகளைக் கொண்டவை) அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பிலுள்ள நிலையான அதே அயனப் பாதையில் இடம்பெற முடியாது. இதேவிதி அணுக்கருக்களின் துகள்களாகிய புரோட்டான்களுக்கும் நியூட்ரான்களுக்கும் பொருந்தும்; அணுக்கருக்களும் இம்மாதிரியே ஒரு தற்சுழற்சி திருப்புதிறனை உடையவை. ஆகவே, ஓர் அணுக்கருவில் இரண்டற்கு மேற்படாத நியூட்ரான்களோ அல்லது இரண்டற்கு மேற்படாத புரோட்டான்களோ அதே நிலையான பாதையில் இடம்பெற முடியாது என்பதாகின்றது. ஆற்றலியலைப் பொறுத்தவரையில் இவ்வாறு இடங்கொடுக்கப்பெற்ற வாய்ப்பினை முழுவதும் பயன்படுத்துதல் மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கும். இரட்டைப்படை எண்ணிக்கையுள்ள நியூட்ரான்களையும் இரட்டைப் படை எண்ணிக்கையுள்ள புரோட்டான்களையும் கொண்ட அணுக்கருக்களுக்கு இந்த மெய்ம்மை மீண்டும் ஒரு சார்தகமான நிலையினை விளைவிக்கின்றது.

---

6. பாலின் நீக்க விதி-Pauli's exclusion principle.

7. அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பைப்பொறுத்தவரையில் அமைதியான நிலை என்பது, ஒரு குறிப்பிட்ட திட்டமான அயனப் பாதை; அல்லது இதனை ஆலக்கூறில் கூறினால், ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் மின்னியல் தற்சுழற்சியின் (Electronic spin) ஒரு குறிப்பிட்ட மாறுத அதிர்வு.

ஹீலிய அணு:

2 என்ற எண்ணின் சாதகமான நிலை சாதாரணமான ஹீலிய அணுக்கருவில் ($_2He^4$) சிறப்பாக அமைந்திருப்பது வெளிப்படை; ஹீலிய அணுக்கருவில் இரண்டு நியூட்ரான்களும், இரண்டு புரோட்டான்களும் உள்ளன. இந்த அணுக்கரு சிறப்பாக ஒரு நிலையான அமைப்பு; அதுபோலவே, அதன் புறத்தமைப்பும் நிலையானது; அப்புறத்தமைப்பில் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இதனால், ஹீலியம் ஒரு மந்த வாயு என்றும், அஃது எந்த விதமான வேதியியற் சேர்க்கையிலும் பங்கு பெறுவதில்லை என்றும் செய்முறைமூலம் எடுத்துக்காட்டப் பெறுகின்றது. உண்மையில், ஹீலிய அணுக்கருவின் பிணைப்பாற்றல் அளவுக்கு மீறிய நிலையில் அதிகமாக உள்ளது; அஃது உத்தேசமாக 30 Mev உள்ளது. அதற்கு மாறாக, ஒரு நியூட்ரானும் ஒரு புரோட்டானும் ஆன ட்யூடெரானின் பிணைப்பாற்றல், ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டவாறு, 2.2Mev தான் உள்ளது. ட்யூடெரானில் புரோட்டானின் ஒரே ஒரு வலுவெண்ணும் நியூடெரானின் ஒரே ஒரு வலுவெண்ணும் மட்டிலுமேபயன்படுத்தப்பெறுகின்றன. ஆனால், ஹீலிய அணுக்கருவில் எல்லா வலுவெண்களும் நிறைவுபெற்றுள்ளன.

இருமடங்கு இரட்டைப்படை அணுக்கருக்கள்':

ஆகவே, பொதுவாக இரட்டைப்படை எண்களின்சாதகமான இயல்பு, இரட்டைப்படை எண்ணிக்கை புரோட்டான்களும்இரட்டைப்படைஎண்ணிக்கைநியூட்ரான்களும்கொண்ட ஒரு குறிப்பிட்ட உயர்ந்த நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்களில் மிகத் தெளிவாக வெளிப்படுத்தப்பெறும் என்பது எதிர்பார்க்கப்பெறுதல் வேண்டும்; இத்தகைய உட்கருக்களை 'இருமடங்கு இரட்டைப்படை அணுக்கருக்கள்' (Doubly even nuclei) என்று நாம் வழங்குவோம். இந்த அணுக்கருக்களில் N அல்லது Z இரட்டைப்படை எண்ணாகவும் மற்றொன்று ஒற்றைப்படை எண்ணாகவும் உள்ள அணுக்கருக்கள் குறைந்த நிலைப்பு

டனிருப்பவை; N-உம் Z-உம் ஒற்றைப்படை எண்களாக வுள்ள அணுக்கருக்கள் இன்னும் குறைவான நிலைப்புடையவை. இந்தக் கூற்றுக்குப் பொதுவான வழக்கமுறையான (அனுபவ) மெய்ப்பிப்பு ஒன்று உண்டு: ஒரு குறிப்பிட்ட அணுக்கரு எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிகமாக நிலைப்புடன் உள்ளதோ, அவ்வளவுக் கவ்வளவு அதிகமாக அஃது இயற்கையில் கிடைக்கக்கூடியதாக இருக்கும் என்பது எதிர்பார்க்கக் கூடியது. காரணம், அடிப்படை அலகுகளாகிய கூறுகளிலிருந்து அணுக்கருக்கள் ஆதியில் உண்டாகும்பொழுது, அவை அடிக்கடி உண்டாவதைப் பொறுத்தவரையிலும் அவை கேடுறாத நிலையிலிருப்பதைப் பொறுத்தவரையிலும் மிக அதிகமான நிலைபுடனுள்ள அணுக்கருக்கள்தாம் சாதகமான நிலையைப்பெற்று இருக்கும். பல ஆண்டுகட்கு முன்னர் ஹார்க்கின்ஸ்[7] என்பார் ஒருவகையில் ஒற்றைப்படை அல்லது இரட்டைப்படை எண்களிடையே வழக்கமுறையாகவுள்ள உறவு முறைகளைக் (Empirical relationship) காணவும், மற்றொரு வகையில் தனிமங்கள் இயற்கையில் மிக அதிகமாக இருப்பதைக் காணவும் தீர்மானிக்க முயன்றார். 'இருமடங்கு இரட்டைப்படை அணுக்கருக்கள்' என்று இன்று நாம் அறிந்த அணு வகை இனம்தான் மிக அதிகமாக உள்ளன என்பதைக் கண்டார். N அல்லது Z ஒற்றைப்படையாகவுள்ள அணுக்கருக்கள்— 'ஒற்றைப்படை அணுக்கருக்கள்' (Odd nuclei)— மிக அரிதாகவுள்ளன; எல்லா அணுக்கருக்களிலும் மிகமிக அரிதாகவுள்ளவை N-உம் Z-உம் ஒற்றைப்படையாக உள்ளவையாகும்; இவற்றை நாம் 'இருமடங்கு ஒற்றைப்படை' (Doubly odd) அணுக்கருக்கள் என வழங்குவோம்.

இயற்கையில் உள்ளவை 'இருமடங்கு ஒற்றைப்படை அணுக்கருக்களே':

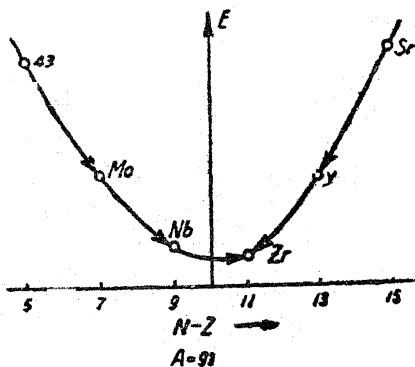
'இருமடங்கு இரட்டைப்படை' ஆக்ஸிஜன் ($_8O^{16}$) சாதாரணமாகப் பெருவழக்கில் காணப்படுவது. 'ஒற்றைப்

7. ஹார்க்கின்ஸ்-Harkins

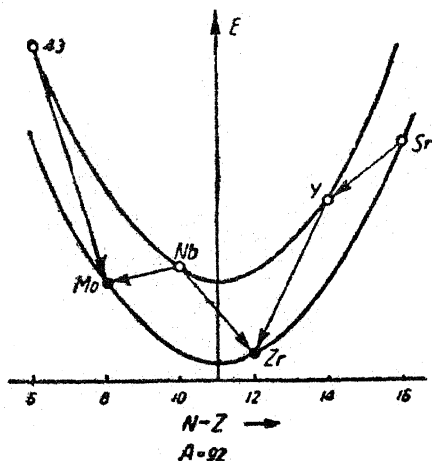
படை' லிதியம்($_3Li^7$) மிக அரிதாகக் கிடைப்பது இறுதியாக, மிகச் சில 'இருமடங்கு ஒற்றைப்படை' அணுக்கருக்களே இயற்கையில் உள்ளன என்ற உண்மையை நாம் கவனத்தில் இருத்துதல் வேண்டும். இவற்றுள் மிகஎளிதானது ட்யூடெரியத்தின் ($_1D^2$) அணுக்கருவாகிய ட்யூடெரான் என்பது, ஏனையவை: லிதிய அணுக்கரு ($_3Li^6$), போரன் அணுக்கரு ($_5B^{10}$), நைட்ரஜன் அணுக்கரு ($_7N^{14}$) என்பவையாகும். இந்த வகையின் மற்றவை யாவும் கதிரியக்கமுள்ளவை; அவை எலக்ட்ரான்களையோ பாசிட்ரான்களையோ வெளியிட்டு மாறக் ('சிதைந்தழியக்') கூடியவை.

மேலும் அணுக்கருவின் நிலைப்புடைமைபற்றிய ஆராய்ச்சி:

மேற்கூறப்பெற்ற ஆராய்ச்சிகளின் அடிப்படையில், அணுக்கருவின் நிலைப்புடைமைப் பிரச்சினையை இன்னும் மிக விவரமாகப் பகுத்து ஆராய்வோம். ஏற்கெனவே நாம் ஆற்றல் பரப்பு என்ன என்பதைக் கூறியுள்ளோம் (படம்—12). இது மிகச் செங்குத்து நிலையில் சாய்ந்துள்ள பரப்பு ஆகும்; அதன் அடியில் ஒரு கால்வாய் அல்லது பள்ளம் (Groove) உள்ளது; இந்தக் கால்வாயின் அடிப்பக்கத்தில் நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்கள் உள்ளன. இப்பொழுது நாம் இடப்புறத்தின் மேலிருந்து வலப்புறத்தின் கீழாக ஆயங்களுக்கு 45^0 இருக்குமாறு கால்வாய்க்கு மூலைவிட்டமாக வெட்டுவோம்; இப்பொழுது மேற்படி பரப்பின் குறுக்கு-வெட்டினை நாம் பெறுகின்றோம் (படம்-18). இவ்வாறு வெட்டியதன் விளைவாக, இந்தக் குறுக்கு-வெட்டில் N+Z என்ற ஒரே கூட்டுத்தொகையுள்ள, அஃதாவது ஒரே பொருண்மை-எண்ணைக் கொண்ட, அணுக்கருக்கள் அடங்கியிருக்கும். N+Z என்பது ஓர் ஒற்றைப்படை எண்ணாக இருக்குமாறு இந்தக் குறுக்கு-வெட்டினை முதலாவதாக ஒழுங்குபடுத்துவோம். இதன் விளைவு ஒரு வளைவரையாகின்றது; அதன் மிகக் கீழான

புள்ளி பள்ளத்தாக்கின் தரையில் உள்ளது. ஓர் எலக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரானை வெளிவிட்டு ஒன்று பிறிதொன்ருக மாறக்கூடிய அணுக்கருக்கள் மட்டிலும் வளைவரையின்மேல் உள்ளன. மிகக் கீழாகவுள்ள அணுக்கரு, அஃதாவது மிக அதிகமான பிணைப்பாற்றலைக் கொண்டிருக்கும் அணுக்கரு, நிலைப்புடன் இருக்க வேண்டும் என்று எதிர்பார்க்கப்பெறு கின்றது. இந்த விளக்கப் படத்தில் நியூட்ரானின் எண்ணிக் கைகள் (அவற்றின் தனி அளவுகள் இங்கு முக்கியமல்ல) மட்டாயத்தில் (Abscissa) ஏறு வரிசையில் பதிவு செய்யப் பெறுகின்றன; பிணைப்பாற்றல் குத்தாயத்தில் (Ordinate) காட்டப்பெறுகின்றது. N+Z என்பது மாருதநிலையிலிருப்ப தால், N—Z இன் அளவின் அதிகரிப்பு என்பதற்கு N-இன் மதிப்பு அதிகரிக்கின்றது, Z-இன் மதிப்பு குறைகின்றது என்பது பொருள். மிகக் கீழான புள்ளிக்கு வலப்புறத்தி

படம் - 18: இரட்டைப்படையல்லாத அணுக்கருக் களின் பிணைப்பாற்றலைக் காட்டுவது.

லுள்ள அணுக்கருக்கள் நிலைப்புடைய அணுக்கருவைவிட மிக அதிகமான எண்ணிக்கையுள்ள நியூட்ரான்களையும் மிகக் குறைவான எண்ணிக்கையுள்ள புரோட்டான்களையும் பெற்

றுள்ளன; அவை ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான்களை வெளிவிட்டுப் படிப்படியாக நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருவாக மாறும். ஆனால், இடப்புறமாக அமைந்துள்ள அணுக்கருக்கள் நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருவைவிட அதிகமான புரோட்டான்களையும் குறைவான நியூட்ரான்களையும் கொண்டுள்ளன; இவை பாசிட்ரான்களை வெளியிட்டோ அல்லது படம்-18இல் அம்புக்குறிகளால் காட்டப்பெற்றுள்ளவாறு, அணுக்கருப்புறத்தமைப்பிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானைச்

படம் - 19: இரட்டைப்படை அணுக்கருக்களின் பிணைப்பாற்றலைக் காட்டுவது

சிறைப்படுத்திக் கொண்டோ (K-சிறையீடு) மாற்றம் அடைகின்றன. இவை யாவும் சோதனைகளால் காணும் சான்றுகளுடன் முழுதும் ஒத்துள்ளன. படங்கள் 18-உம் 19-உம் 91, 92 என்ற திட்டமான பொருண்மை-எண்களுக்குரிய நிலைமைகளைக் காட்டுகின்றன.

'இரட்டைப்படை' அணுக்களில், அஃதாவது N+Z இரட்டைப்படை எண்ணாக இருக்கும்பொழுது இந்நிலை முற்

றிலும் வேருக உள்ளது. இங்கு ஆற்றல்பரப்பின் நுட்ப மான விவரங்களில் ஒன்று (இந்த நூலின் நான்காவது இய லில் அறுதியிடப்பெற்ற வாய்பாட்டில் பிரதிபலிக்காதது) 'இருமடங்கு இரட்டை' அணுக்கருக்கள் 'இருமடங்கு ஒற்றை' அணுக்கருக்கள் ஆகியவற்றின் நிலைப்புடைமையின் வேற்று மையாகும். ஆகவே, அது பிணைப்பாற்றல்களின் வேற்றுமையு மாகும். ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டபடி முன்னதன் நிலைப் புடைமை பின்னதன் நிலைப்புடைமையைவிட தரத்தில் உயர்ந்தது. ஆகவே, இரண்டு வகை அணுக்கருக்களை உணர்த்த வேண்டுமாளுல், நாம் இரண்டு வெவ்வேறு வளை வரைகளை வரைதல்வேண்டும்; 'இருமடங்கு இரட்டை' அணுக் கருக்களை-அஃதாவது அதிக நிலைப்புடனுள்ளவற்றை-உணர்த் தும்முதலாவதன்வளைவரை 'இருமடங்கு ஒற்றை' அணுக்கருக் களை உணர்த்தும்இரண்டாவது வளைவரையின்கீழ்அமைந்துள் ளது. ஓர் அணுக்கரு பிறிதொன்ருக மாற்றம் அடைதல் மிகத் தெளிவான படிகளிலேயே நடைபெறக்கூடும்; ஒரு சமயம் ஓர் எலக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரான் (தேவையான நியூட் ரிஞேவுடன்)வெளிப்படும்; ஆளுல் ஒரு பொழுதும் சேர்ந்தாற் போல் இரண்டு எலக்ட்ரான்களோ அல்லது இரண்டு பாசிட் ரான்களோ வெளிப்படா. எடுத்துக்காட்டாக, $N-Z = 6$ (அஃதாவது, $N = 49$; $Z = 43$; இஃது 'இருமடங்கு ஒற்றை' அணுக்கரு) ஆக இருக்கும் அணுக்கரு படம்-19இல் அம்புக் குறியால் காட்டப்பெற்றுள்ளவாறு ஒரு பாசிட்ரானை வெளி விட்டு $N-Z = 8$ ($N = 50$; $Z = 42$) ஆகவுள்ள 'இருமடங்கு இரட்டை' மாலிப்டின அணுக்கருவாக (Mo) மாற்றம் அடை தல் சாத்தியமானதே; ஏனெனில், இந்தச் செயலில் ஆற்றல் வெளிவிடப்பெறுகின்றது. ஆளுல், $N-Z = 12$ ($N = 52$; $Z = 40$) ஆகவுள்ள மிக அதிகமான நிலைப்புடைமையுள்ள ஜர்க்கோனிய அணுக்கருவாக (Zr) மேலும் மாறவேண்டு மாயின், $N-Z = 8$ ஆகவுள்ள Mo அணுக்கரு முதலில் ஒரு பாசிட்ரானை வெளிவிட்டு $N-Z = 10$ ஆகவுள்ள நியோபிய அணுக்கருவாக (Nb)—அஃதாவது மீண்டும் ஒரு முறை 'இரு மடங்கு ஒற்றை' அணுக்கருவாக—முதலில் மாறுதல் வேண்

டும். எனினும், ஆற்றலியலைப் பொறுத்தவரையில் இது சாத்தியப்படாது; ஏனெனில், இதற்கு ஆற்றல் செலவழிதல் வேண்டும். இதன் மறுதலையாக, N—Z = 10 ஆகவுள்ள Nb அணுக்கரு ஓர் எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு N—Z = 8 ஆகவுள்ள Mo அணுக்கருவாகவோ, அல்லது ஒரு பாசிட்ரானை வெளிவிட்டு N—Z =12 ஆகவுள்ள மிகவும் அதிகமான நிலைப்புடைமையைக் கொண்ட Zr அணுக்கருவாகவோ மாறுதல் மிகவும் எளிதானது. எனவே, படம் 19ஐ ஆராய்ந்தால், பள்ளத்தாக்கின் தரையின்மீது அமைந்துள்ள மிக அதிகமான நிலைப்புடனுள்ள Zr அணுக்கருவுடன், அதற்குச் சற்றுமேல் அமைந்துள்ள அதே பொருண்மை எண்ணைக் கொண்ட பிற 'இருமடங்கு இரட்டை' அணுக்கருக்களும் நிலைப்புடன் இருக்கக்கூடும்; ஆனால், வளைவரையின் மேற்பகுதியில் அமைக்கப்பெற்றுள்ள எல்லா 'இருமடங்கு ஒற்றை' அணுக்கருக்களும் நிலைப்புடைமையற்றுள்ளன. மற்றும் படம் 19இல் மாற்றம் அடையக்கூடிய சந்தர்ப்பங்கள் அம்புக்குறிகளாலும் காட்டப்பெற்றுள்ளன. வலது கீழ்ப் புறத்தை நோக்கியுள்ள அம்புக்குறிகள் பாசிட்ரான்கள் வெளிவிடுதலை (ஒரு சிலவற்றில், ஒரு K கதிர் வீசலைக்) குறிப்பிடுகின்றன. ஆனால், இடப்புறத்தில் இருப்பவை எலக்ட்ரான்கள் வெளிவிடுதலைக் குறிப்பிடுகின்றன. எனவே, கீழ்வளைவரையில் பொருத்தமான நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்கள் இருந்தால், மேல்வளைவரையில் அமைந்துள்ள நிலைப்புடைமையற்ற அணுக்கருக்கள் இரண்டு செயலாலும் மாற்றம் அடையலாம். பொட்டாசியம் அணுக்கரு ($_{19}K^{40}$) இதற்கு ஓர் எடுத்துக் காட்டு; இஃது எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு கால்சியம் அணுக்கருவாகவோ ($_{20}Ca^{40}$), அல்லது பாசிட்ரானை வெளிவிட்டு ஆர்கான் அணுக்கருவாகவோ ($_{18}A^{40}$) மாற்றம் அடையக் கூடும்.

ஆராய்ச்சியால் கண்ட விதிகள்:

ஆகவே, இந்த வளைவரைகளால் அடைந்த சான்றுகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு, நாம் அடியிற் கண்ட விதிகளை

உண்டாக்கலாம்; இவை சோதனைகளால் சரிபார்க்கப்பெற வேண்டியவை:

1. பொருண்மை-எண் ஒற்றைப்படை எண்ணாக இருக்கும்பொழுது—அஃதாவது, 'ஒற்றை' அணுக்கருக்களில் - ஒரு குறிப்பிட்ட பொருண்மை-எண்ணுக்கு ஒரே ஒரு நிலையான அணுக்கருதான் உண்டு. மற்றவை யாவும் நிலைப்புடைமை யற்றவை. அவை எலக்ட்ரான்களையோ அல்லது பாசிட்ரான்களையோ வெளிவிடும் (அல்லது K சிறைபிட்டால் சிதைந்தழியும்).

2. பொருண்மை-எண்ணும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் இரட்டைப் படை எண்ணாக இருக்கும்பொழுது—அஃதாவது 'இருமடங்கு இரட்டை' அணுக்கருக்களில்—ஒரே பொருண்மை எண்ணைக் கொண்ட பல நிலைப்புடைய—மிகப் பல அன்று (இரண்டு அல்லது மூன்று எனக் கொள்க.)—அணுக்கருக்கள் உள்ளன.

3. இரட்டைப் படைப் பொருண்மை - எண்ணையும், ஆனால் ஒற்றைப்படை எண்ணிக்கையுள்ள புரோட்டான்களையும் ஒற்றைப்படை எண்ணிக்கையுள்ள நியூட்ரான்களையும் கொண்ட நிலைப்புடைய அணுக்கருக்கள்—'இரு மடங்கு ஒற்றை' அணுக்கருக்கள்—பொதுவாக இருக்கவே முடியாது.

எனினும், மூன்றுவது விதியில் குறிப்பிட்டதற்கு விதி விலக்காக, மிக இலேசான அணுக்கருக்களில் சில அணுக்கருக்களும் உள்ளன. இரண்டு வளைவரைகளிலும் தெளிவாக வளைநிலையில் (Sharp flexure) இருப்பதற்கு இவையே காரணமாகும்; இந்த வளைநிலையின் விளைவாகத்தான் மேல்வளைவரையின் கிட்டத்தட்ட மிகக் கீழாக உள்ள புள்ளியில் அமைந்திருக்கும் மிக அதிகமான நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கரு, கீழ் வளைவரையினை மிகவும் நெருங்கியுள்ள அணுக்கருக்களின் கீழ் உள்ளது.

மட்டாவ் விதி:

மேற் குறிப்பிட்ட எல்லா முடிவுகளும் உண்மையனுபவத்தால் பெறப்பட்டவை; அட்டவணை—IV ஐ (நூலின் இறுதியில் உள்ளது) வைத்துக்கொண்டு பார்த்தால் இது தெளிவாகும்; அட்டவணையில் நிலைப்புடனுள்ள அணுக் கருக்கள் கரும் புள்ளிகளாலும், நிலைப்புத்தன்மையற்றவை நிமிர்ந்த முக்கோணங்களாலும் (எலக்ட்ரான்களை வெளி விடுபவை), அல்லது கவிழ்ந்த முக்கோணங்களாலும் (பாசிட்ரான்களை வெளி விடுபவை) குறிப்பிடப்பெற்றுள்ளன. மேலும், இந்த அட்டவணையை மிகக் கவனமாக ஆராய்ந்தால், உண்மையில் மிகச் சில எடுத்துக்காட்டுக்களைத் தவிர, ஒரு குறிப்பிட்ட பொருண்மை - எண்ணில் ஒன்றற்கு மேற்பட்ட நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கரு எப்பொழுதுமே இல்லாமை தெரியவரும். இந்தக் கூற்று 'மட்டாவ் விதி'[8] என்று வழங்கப்பெறுகின்றது. இந்த அட்டவணையிலும் ஒரே பொருண்மை-எண்ணைக்கொண்ட அணுக்கள் மட்டாயத்திற்கு 45^{0}-இல் ஏறிய நிலையிலுள்ள ஒரு நேர்க்கோட்டில் அமைந்திருக்கின்றன. எடுத்துக் காட்டாக, பாலேடிய அணுக்கரு ($_{46}Pd^{111}$), வெள்ளி அணுக்கரு ($_{47}Ag^{111}$), காட்மிய அணுக்கரு ($_{48}Cd^{111}$), இண்டிய அணுக்கரு ($_{49}In^{111}$)—ஆகியவை யாவும் அத்தகைய ஒரு நேர்க்கோட்டில் அமைந்துள்ளன. இவற்றுள் $_{48}Cd^{111}$ மட்டிலும்தான் நிலைப்புடையது; $_{46}Pd^{111}$-வும் $_{47}Ag^{111}$-வும் எலக்ட்ரான்களை வெளி விடுபவை; $_{49}In^{111}$ பாசிட்ரானை வெளி விடக்கூடியது. எனவே, ஒற்றைப்படைப் பொருண்மை - எண்ணையுடைய நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருவினைக்கொண்ட அதே நேர்க்கோட்டில் அதே பொருண்மை - எண்ணைக் கொண்ட பிற அணுக்கருக்கள் யாவும் நிலைப்புடைமையற்றவைகளாக உள்ளன என்ற மெய்ம்மையை இந்த அட்டவணை முற்றிலும்

8. மட்டாவ் விதி—Mattauch's rule

உறுதிப்படுத்துகின்றது. பொருண்மை-எண் 113 ஐக்கொண்ட அணுக்கருவில் இந்த விதிக்கு ஒரு விதிவிலக்கும் உண்டு. நிலைப்புடனுள்ள இண்டிய அணுக்கருவுடன் ($_{49}In^{113}$) நிலைப்புடனுள்ள காட்மிய அணுக்கருவும் ($_{48}Cd^{113}$) உள்ளது. இந்த விதிவிலக்கிற்கு ஒரு காரணமும் கூறி விடலாம்: இந்த இரண்டு அணுக்கருக்களும் ஆற்றல் பரப்பின் இரு புறங்களிலும் கிட்டத்தட்ட சம உயரத்தில் அமைந்துள்ளன; அவற்றின் இடையேயுள்ள ஆற்றலின் வேற்றுமை, ஓர் எலக்ட்ரானும் ஒரு நியூட்ரினோவும் உண்டாவதற்கோ அல்லது எலக்ட்ரான் சிறையீடு செய்யப்பெறுவதை அளப்பதற்கோ போதுமானதாக இல்லாமல் மிகக் குறைவாக உள்ளது. ஆகவே, இந்த அணுக்கருக்களில் ஒன்று பிறிதொன்ருக மாற்றம் அடைதல் நிகழவே முடியாது. மேலும், வேறு விதிவிலக்குகளும்இருக்கக் கூடும்; ஆனல், அவற்றின் இருப்பு இதுகாறும் அனுபவத்தால் உறுதிப்படுத்தப்பெறவில்லை.

நிலைப்புடனுள்ள ஐசோபார்கள்:

பொருண்மை - எண் இரட்டைப் படையாக இருக்கும் பொழுது, ஒரே பொருண்மை - எண்ணைக் கொண்ட பல நிலைப்புடனுள்ள அணுக்கருக்கள் உண்டாவது ஒரு பொது விதியாக உள்ளது; அத்தகைய அணுக்கருக்கள் 'அணுக்கரு ஐசோபார்கள்', (Isobars) என்று வழங்கப்பெறுகின்றன. இரட்டைப்படை எண்களின் இந்த உரிமைப் பண்பின் விளைவாக, இரட்டைப் படை எண்ணிக்கைப் புரோட்டான்களைக் கொண்ட (அஃதாவது, இரட்டைப்படை அணு-எண்ணைக் கொண்ட) ஒவ்வொரு அணுக்கருவிலும் பல அல்லது சில நிலைப்புடனுள்ள ஐசோடோப்புக்கள் உள்ளன; அஃதாவது, ஒரே அணு-எண்ணையும் ஒரே வேதியியற் பண்புகளையும் பெற்றுள்ள அணுக்கருக்கள் இவை; இவை யாவும் ஒரே தனிமத்தின் பல வகை அணுக்கருக்களாகும். ஆனல், ஒற்றைப் படை அணு-எண்ணைக்கொண்ட தனிமங்கள் மிகச் சில நிலைய

புடனுள்ள ஐசோடோப்புக்களைப் பெற்றுள்ளன. எனவே டைட்டேனியம் என்ற தனிமம் அதனுடைய இரட்டைப் படை எண்ணிக்கைப் புரோட்டான்களுடன் (22) நிலைப்புட னுள்ள ஐந்து ஐசோடோப்புக்களைப் பெற்றுள்ளது. ஆனால், அதன் அயலவனாகவுள்ள (Neighbour) வேனேடியம் என்ற தனிமம் அதனுடைய 23 புரோட்டான்களுடன் ஒரே ஒரு ஐசோடோப்பையே பெற்றுள்ளது. அடுத்த தனிமமாகிய குரோமியம் நான்கு ஐசோடோப்புக்களைப் பெற்றுள்ளது. ஆனால், அதனை உடன் அடுத்து வரும் மாங்கனீஸ் ஓர் ஐசோ டோப்பினை மட்டிலுமே பெற்றுள்ளது. காட்மியம் 48 புரோட்டான்களுடன் எட்டு நிலைப்புடைமையுள்ள ஐசோ டோப்புக்களைப் பெற்றுள்ளது. ஆனால், அதை அடுத்துத் தொடரும் வெள்ளி ($Z = 47$) இரண்டே ஐசோடோப்புக் களைப் பெற்றுள்ளது. ஆவர்த்த அட்டவணை முழுவதிலும் இதே நிலைதான் காணப்பெறுகின்றது.

அணுக்கரு விசைகளின் இயல்பைப்பற்றி, அதிலும் சிறப் பாக அவற்றின் குறுகிய வீச்சையும் நிறைவு பெறும் திறனை யும்பற்றி, ஏற்கெனவே ஆராயப்பெற்ற சங்கற்பங்கள் முடிவு களின் மூலம் உண்மை அனுபவத்தால் திட்டமாக உறுதிப் படுத்தப்பெறுகின்றன.

ஐசோடோப்புக்களின் இருப்பிற்கு ஓர் எளிய விளக்கம்:

பல்வேறு தனிமங்களின் ஐசோடோப்புக்களின் இருப் பைப்பற்றிய வெளியீடு, இதுகாறும் நாம் அறிந்த அணு— எடைகள் யாவும் முழு எண்களாகவே உள்ளன என்ற சங்கற் பத்தின் அடிப்படையில் அமைந்த பிரௌட்டின் கருதுகோள்— இது ஓரளவுச் சரியான வழியில் செல்லும் இயக்கமாக இருந் தது—கிட்டத்தட்ட ஒரு நூற்றாண்டாக மறதிக் கடலில் ஆழ்ந்து கிடந்தமைக்கு ஒரு விளக்கமாக அமைகின்றது. அதன் பிறகு மேற்கொண்ட பளுவான தனிமங்களின் அணு

எடைகளின் பெரும்பாலான அளவீடுகள் முழு எண்களாக இல்லாமையையும் அல்லது கிட்டத்தட்ட முழு எண்களாக இருந்தமையையும் மெய்ப்பித்தன. ஆனால், இந்த உண்மைக்கு, அஃதாவது ஐசோடோப்புக்களின் இருப்பிற்கு, ஓர் எளிய விளக்கம் உள்ளது. வேதியியல் முறைப்படி தூய்மையாக்கப்பெற்ற ஒவ்வொரு தனிமமும் ஐசோடோப்புக்களின் கலவையே (அஃது ஐசோடோப்பினைப் பெற்றிராதவரை). உண்மையில், தனிப்பட்ட ஐசோடோப்புக்களின் பொருண்மை - எண்கள் எப்பொழுதுமே கிட்டத்தட்ட முழு எண்களாகவே உள்ளன. ஆனால், வேதியியற் செயல்கள் ஐசோடோப்புக்களின் கலவையிலுள்ள அணுக்களின் சராசரி பொருண்மையை மட்டிலும் தருகின்றன; இந்தப் பொருண்மையின் அளவு ஐசோடோப்புக்களின் விகித சம அளவினைப் பொறுத்து இருக்கும். ஆகவே, அது முழுமையற்ற சாத்தியப் படக்கூடிய எல்லா மதிப்புக்களையும் மேற்கொள்ளக் கூடும்.

6. அணுக்கரு இயக்கங்கள்

(I) ஆல்பாக் கதிர்வீசல்

அணுக்கரு மாற்றம்—ஆராய்ச்சி

இதற்கு முன் நடைபெற்ற சொற்பொழிவுகளில் அணுக் கருக்களின் மாற்றங்களைப்பற்றி அதிகம் சொல்லப்பெற்றுள் ளது. இத்தகைய மாற்றங்களில் ஒரு வேதியியல் தனிமம் பிறி தொரு தனிமமாக மாறுகின்றது; இந்த முறையில் நவீன அணுக்கரு பௌதிகம் ஓரளவு பண்டைய இரச வாதிகளின் நம்பிக்கைகளை உண்மையாக்கியுள்ளது. இப்பொழுது நாம் இந்த அணுக்கரு உரு மாற்றங்களை மிகவும் ஊன்றி ஆராய் வோம். இவ்விடத்தில் அடியிற்காணும் இரண்டு வினுக்கள் எழுகின்றன: எந்தத் தனிமங்கள் ஒன்று பிறிதொன்ருக மாற்றப்பெறுதல் கூடும்? எந்த நிபந்தனைகளின்கீழ் அத் தகைய ஓர் உருமாற்றம் சாத்தியப்படுதல்கூடும்? இந்த இரண்டு வினுக்களுக்கும் விடையிறுப்பதற்காக உருமாற்றச் செயல்களை இரண்டு தொகுதிகளாக இனப்படுத்திக் கொள் வோம்: முதலாவது, தாமாக நடைபெறும் இயக்கங்கள்; இரண்டாவது, புற ஏற்பாடுகளால் உண்டாக்கப்பெறும் இயக்கங்கள்.

தாஞக நடைபெறும் மாற்றம்—கதிரியக்கம்:

ஒரு தனிமத்தின் தாஞக நடைபெறும் மாற்றம் **கதிரியக்கம்** (Radioactivity) என வழங்கப்பெறுகின்றது; காரணம், அச் செயல் கதிர்வீசல் வெளிப்படுதலுடன் சேர்ந்து நடைபெறு

கின்றது. கதிரியக்கத் தனிமங்கள் ஆல்பாக் கதிர்வீசலை வெளிவிடுபவை, பீட்டாக் கதிர்வீசலை எலக்ட்ரான்கள் அல்லது பாசிட்ரான்கள்) வெளிவிடுபவை என இரண்டு இனங்களாக உட்பிரிவு செய்யப்பெறலாம். காமாக்கதிர் வீசல் அதே சமயத்தில் நடைபெறக்கூடும். இவற்றுடன், வேறு சில செயல்களும் உள்ளன; அவை பின்னர் ஆராயப் பெறும்.

ஆல்பாக் கதிர்களை வெளியிடுபவை:

ஆல்பாக் கதிர்கள் வெளியிடப்பெறும் உருமாற்றச் செயல்களிலிருந்து (Transmutation processes) நம் ஆராய்ச்சியைத் தொடங்குவோம். ஆல்பாக் கதிர்வீசலில் ஹீலிய அணுக் கருக்கள் அடங்கியுள்ளன; ஒவ்வொரு ஹீலிய அணுக் கருவும் இரண்டு நியூட்ரான்களாலும் இரண்டு புரோட்டான் களாலும் ஆனது. ஆல்பாக் கதிர்வீசல் வெளியிடப்பெறுவதை எப்பொழுது எதிர்பார்க்கலாம் என்பதை நாம் ஏற்கெனவே ஆராய்ந்துள்ளோம். கிட்டத்தட்ட துத்தநாகம் (30) என்ற தனிமத்தில் தொடங்கி, மின்-நிலைப்பொருளியல் விலக்கு விசைகளின் (Electrostatic forces of repulsion) அதிகரிக்கும் உறைப்பின் காரணமாக ஒவ்வொரு துகளின் பிணைப் பாற்றலும் துகள்களின் எண்ணிக்கை ஏற்றத்திற் கேற்றவாறு குறைகின்றது. ஆகவே, ஆற்றலியலைப் (Energetics) பொறுத்தவரை, பளுவான தனிமங்களால் வெளியிடப் பெறும் ஓர் ஆல்பாத் துகள் சில சந்தர்ப்பங்களில் பயன் விளைவிப்பதாக இருக்கலாம். இது நேரிடும்பொழுது, தொடக்கத்திலிருக்கும் அணுக்கருவிற்கும் செயலின் விளை பொருளாகத் தோன்றும் அணுக்கருவிற்கும் இடையேயுள்ள பொருண்மைக்குறையின் (Mass defect) வேற்றுமையிலிருந்து ஆல்பாத் துகளின் ஆற்றலும் அதன் வீச்சும் (Range) அறுதியிடப் பெறுகின்றன. எனவே, ஒரு திட்டமான சிதைந்தழியும் செயலின் விளை பொருளாகத் தோன்றும் எல்லா ஆல்பாத்துகள்களும் ஒரே வீச்சினையே பெற்றுள்ளன (படம் - 3).

உண்மையில், ஆல்பாக் கதிர்களை வெளியிடும் தனிமங்கள் யாவும் ஆவர்த்த அட்டவணையின் (Periodic table) இறுதியில்தான் உள்ளன. இதற்கு ரேடியமும் யுரேனியமும் அனைவரும் நன்கு அறிந்த எடுத்துக்காட்டுக ளாகும்.

மூன்று கதிரியக்கக் கோவைகள்:

ஆற்றலியலின் விதிகளின்படி ஆல்பாச் சிதைந்தழிவு நேரிடுவதற்குச் சாத்தியப்படக்கூடிய ஓர் அணுக்கரு உடனே அல்லது மிகக் குறுகிய கால அளவில் சிதைந்தழியும் என்று நாம் ஊகிக்க இடந் தருகின்றது. என்றாலும், இஃது அவ்வாறு நடைபெறுவதன்று என்பது யுரேனியம் ஏராளமான அளவுகளில் இன்னும் இவ்வுலகில் இருப்பதிலிருந்தும், இந்த யுரேனியம் உண்மையில் மிக மிக மெதுவாகவே சிதைந்தழிவதிலிருந்தும் மெய்ப்பிக்கப்பெறுகின்றது. உண்மையில், யுரேனியத்தின் அணுக்கள் பல்லாயிர மில்லியன்[1] ஆண்டுகளாக (பல ஆயிர ஆயிரமாயிரம் ஆண்டுகளாக) மாற்றம் அடையாத வடிவில் நிலைத்திருந்திருக்கின்றன. இந்த விதி தோரியம், ஆக்டினியம் என்ற தனிமங்களுக்கும் பொருந்தும். உண்மையில், ஒரு சில இலேசான தனிமங்களைத் தவிர, நீண்ட - ஆயுளையுடைய இந்த மூன்று கதிரியக்கத் தனிமங்களும் நிலைத்திருந்திராவிட்டால், நீண்டகாலத்திற்கு முன்பதாகவே கதிரியக்கம் இவ்வுலகினின்றும் மறைந்தே போயிருக்கும். ஏனெனில், இயற்கையில் கிடைக்கும் பிற கதிரியக்கத் தனிமங்களில் பெரும்பாலானவை இவற்றினின்றே தோன்றுகின்றன; அவை யாவும் மிகவும் குறுகிய - ஆயுளையுடையவை. ஒரு பொருள் சிதைந்தழிதலில் தோன்றும் விளைபொருள்கள் யாவும் தொகுப்பாகக் 'கதிரியக்கக் கோவை' (Radioactive-series) என்று குறிக்கப்பெறுகின்றன. இயற்கையில் அத்தகைய கோவைகள் மூன்று உள்ளன. அவை: யுரேனியக் கோவை, தோரியக் கோவை, ஆக்டினியக் கோவை என்பன.

---

1. மில்லியன் என்பது பத்து இலட்சம்; அஃதாவது ஆயிரமாயிரம்.

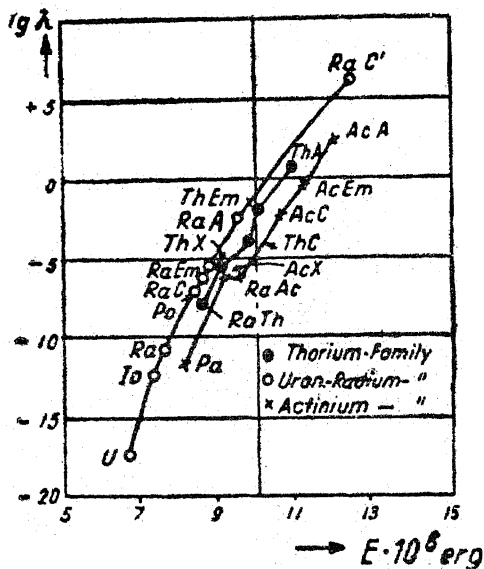
ஆல்பாக்கதிர்களை வெளிவிடும் பொருள்களின் அரை -வாழ்வு:

ஒரு கதிரியக்கப் பொருளின் ஆயுட்காலத்தைக் குறிப்ப தற்கு 'அரை - வாழ்வு' (Half-life) என்ற அளவு மேற்கொள் ளப்பெறுகின்றது என்பதை மூன்றும் சொற்பொழிவில் குறிப்பிட்டோம்; ஒரு பொருளில் தொடக்கத்திலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையில் ஒரு பாதி சிதைந்தழிவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் கால அளவே 'அரை - வாழ்வு' என்பது. ஆல்பாக் கதிர்களை வெளியிடும் பல்வேறு தனிமங்கள் அரை - வாழ்வுக் கால அளவுகளின் தரத்தில் அளவு மீறின வேற்றுமை களைக் காட்டுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, யுரேனியத்தின் அரை - வாழ்வு 4500 மில்லியன் ஆண்டுகள்; ஆனல், அதன் சேய்த் தனிமங்களில் (Daughter elements) ஒன்முன ரேடி யம் - C′ என்ற தனிமத்தின் அரை - வாழ்வு மில்லியனில் ஒரு பங்கு விஞடியாகும். இந்த இரண்டு கால எல்லைக்கோடிகளுக் கிடையே நாம் கருதக்கூடிய எல்லா இடைப்பட்ட மதிப்புக் களும் அடங்குகின்றன; எடுத்துக்காட்டாக, ரேடியத்தின் அரை - வாழ்வு 1,580 ஆண்டுகள். இந்த அளவிறந்த வேற்றுமைகளுக்குக் காரணம் யாதாக இருக்கலாம் என்ற விஞவை இஃது எழுப்புகின்றது.

ஆல்பாத்துகள்களின் ஆற்றல் அவற்றை வெளிவிடும் பொருள் - இவற்றிடையுள்ள உறவு முறை:

இந்தச் சந்தர்ப்பத்தில் ஒரு முக்கியமான மெய்ம்மையைக் குறிப்பிடுவது மிகவும் பொருத்தமானது. அஃதாவது, ஆல் பாத் துகள்களின் ஆற்றலுக்கும் அவற்றை வெளிவிடும் பொருளின் அரை - வாழ்விற்கும் இடையே ஓர் எளிய உறவு முறை அமைந்துள்ளது. இந்த உறவு முறை சிறிது காலத் திற்கு முன்னதாகவே கைகர்[2], நட்டால்[3] என்ற இரு அறிஞர் களால் கண்டறியப் பெற்றது. இந்த இரண்டு அறிவியலறி

2. கைகர் - Geiger. 3. நட்டால் - Nuttall.

ஞர்களும் சிதைந்தழிதல் ஏற்படுநிலையின் மடக்கைக்கும் (Logarithm of the decay probability)(அணுவின் சராசரி வாழ்வின் தலைகீழ்ப் பின்னம்) ஆல்பாத் துகள்களின் ஆற்றலுக்கும் இடையில் ஓர் ஒருபடி உறவு முறை (Linear relationship) இருப்பதைக் கண்டனர். ஆல்பாத் துகள்களின் ஆற்றல், அத்துகள்களின் சமவீச்சு (படம் - 3) குறிப்பிடுவது போல், திட்டமான ஒவ்வொரு கதிரியக்கப் பொருளின் சிறப்பியல்

படம்-20: கைகர் நட்டாலின் விதியை விளக்குவது.

பிற்கேற்றவாறு அமைந்துள்ள அளவாகும். சிதைந்தழியும் செயலுக்குக் கிடைக்கக்கூடிய ஆற்றலின் அளவு எவ்வளவுக் கெவ்வளவு பெரிதாகஇருக்கின்றதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவும், துகளின் ஆற்றல் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிகமாக உள்ளதோ அவ்வளவுக் கவ்வளவும் மிக விரைவில் சராசரி

சிதைந்தழிதல் நிகழும். λ என்பது[4] சிதைந்தழிதல் ஏற்படு நிலையையும் (இந்நூலின் இரண்டாம் இயலில் ஆராயப் பெற்றது) E என்பது ஆல்பாத் துகளின் ஆற்றலையும் குறிப்பிட்டால், கைகர் - நட்டால் உறவு முறையை அடியிற் காணும் வடிவில் நாம் எழுதிக் காட்டலாம்:

$$\log \lambda = A + BE.$$

இங்கு A, B என்பவை சோதனைகளால் அறுதியிடப் பெறவேண்டிய மாறிலிகள். சிதைந்தறிதல் குணக மதிப்பு (Decay coefficient) ஏற்கெனவே குறிப்பிடப்பெற்ற $N = N_0 e^{-\lambda t}$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து அடைதல் கூடும்; இந்தச் சமன்பாடு t கால அளவில் இன்னும் சிதைந்தழியாயதுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் குறிப்பிடுகின்றது. கைகர், நட்டால் என்பாராலேயே கண்டறியப்பெற்ற ஒரு விதியைத் துணைக்கொண்டே வீச்சிலிருந்து E என்ற ஆற்றல் கணிக்கப் பெறலாம்.

படம்—20 என்பது, அளவீடுகளின் அடிப்படையில் அமைந்த ஒரு விளக்கப்பட (Diagram) வடிவில், எல்லா ஆல் பாத் துகள்களுக்குமே, மடக்கை λ க்கும் Eக்கும் இடையுள்ள-உறவு முறையைக் காட்டுகின்றது. இங்கு நாம் அடுத் தடுத்துள்ள மூன்று வளைவரைகளைக் காண்கின்றோம்; ஒவ்வொன்றும் ஒவ்வொரு கோவைக்கும் — அஃதாவது, யுரோனியக்கோவை, தோரியக்கோவை, ஆக்டினியக் கோவை—உரியது. கைகர் - நட்டால் உறவுமுறை குறிப்பதற்கேற்றவாறு இந்தக் கோடுகள் மிகச் சரியான நேர்க்கோடுகளாக இராவிடினும், அவை மிகஅதிகமாக வளைந்திருக்கவில்லை என்பது குறிப்பிடத் தக்கது. B என்ற மாறிலி மூன்று கதிரியக்கக் கோவைகளுக்கும் ஒன்றாகவே இருந்தபோதிலும், A என்ற மாறிலியின் மதிப்புக்கள் சிறிது மாறுபடுகின்றன என்பதை படத்தில் காணப்பெறும் கிட்டத்

---

4. λ என்பது 'லாம்டா' என்று ஒலிக்கப்பெறும்; கிரேக்க நெடுங்கணக்கில் ஓர் எழுத்து இது.

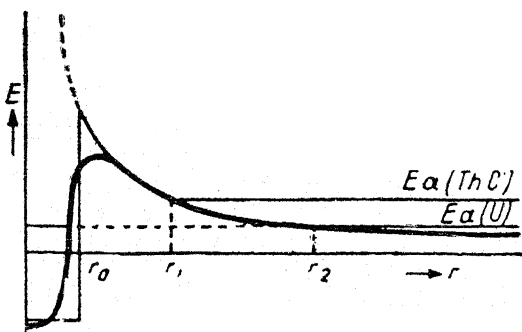
தட்ட இணையாகவுள்ள மூன்று வெவ்வேறுவளே வரைகள் காட்டுகின்றன. படத்தின் மிக அடியில் மிகக் குறைந்த சிதைந்தழிதல்ஏற்படுநிலையையுடைய யுரோனியமும் மிகஉச்சியில் மிக அதிகமான சிதைந்தழிதல் ஏற்படு நிலையையுடைய ரேடியம் c'யும் இருப்பதை நாம் காண்கின்றோம்.

ஒழுங்குத் தன்மைக்கு ஒரு விளக்கம்:

இப்பொழுது நாம் இந்த ஒழுங்குத் தன்மைக்கு விளக்கம் கூறல்வேண்டும்; எல்லாவற்றையும்விட, ஆற்றல் E-இல் இத்தகைய சிறியதொரு மாற்றம், சிதைந்தழிதல் ஏற்படு நிலையில் λவில் இத்தகைய மிகப் பெரியதொரு மாற்றத்தை உண்டாக்குகின்றது என்ற மெய்ம்மைக்கு — முதல் கண்ணோட்டப் பார்வையில் (Glance) மிகவும் வியப்பினை விளைவிக்கக்கக்கூடிய இந்த மெய்ம்மைக்கு — விளக்கம் தருதல் வேண்டும். இந்த வீச்சு முழுவதிலும், ஆற்றல் 6×10^{-6} எர்க்குகளுக்கும் 13×10^{-6} எர்க்குகளுக்கும் இடையில் வேறுபடுகின்றது; இது 1 : 2 விகிதத்திலுள்ளது. ஆனால், சிதைந்தழிதல் ஏற்படுநிலை ஒரு வினாடிக்கு 10^{-18}லிருந்து 10^{6} வரை உள்ள அளவுகளுக்கிடையில் மாறுபடுகின்றது. இது $1 : 10^{24}$ விகிதத்திலுள்ளது.

இந்த மெய்ம்மை 1928-இல் கேமோ[5], காண்டன்[6], கர்னே[7] என்பாரால் விளக்கப்பெற்றது. இந்தக் கொள்கையைப் புரிந்துகொள்வதற்காக நாம் ஒரு கற்பனைச் சோதனையை ஆராய்வோம். அணுக்கருவினின்றும் வெளிவந்தவுடன் ஓர் ஆல்பாத் துகளை நாம் சிறைப்படுத்தியதாகவும், அதை அது வந்த இடத்திற்கே மீண்டும் கொண்டுபோய்ச் சேர்த்ததாகவும் கற்பனை செய்துகொள்வோம். இந்த ஆல்பாத் துகள்மீது என்னென்ன விசைகள் செயல் புரிகின்றன என்றும், அதற்கு என்ன வினை செலுத்தப் பெறல்வேண்டும் என்றும் ஆராய்

5. கேமோ - Gamow. 6. காண்டன் - Condon.
7. கர்னே - Gurney.

வோம். இங்கு நாம் காணும் நிலைமைகள் புரோட்டான்-நியூட்ரான் உறவில் உள்ள நிலைமைகளைப் போன்றவையே (படம் - 15). அணுக்கருவிலிருந்து ஆல்பாத் துகள் மிகத் தொலைவில் இருக்கும்வரையில், அது தன்னால் விலக்கப் பெற்ற நேர் மின்னூட்டத்தினால் புலத்தின் செயலுக்கு மட்டிலும் முழுவதும் உள்ளாக்கப்பெறுகின்றது. ஆகவே, அதை அணுக்கருவிற்கு அண்மையில் கொண்டு வருவதற்கு வினை செலுத்தப்பெறுதல் வேண்டும். அஃதாவது நம்முடைய துகள் அணுக்கருவினை அணுகும்பொழுது அதன் நிலையாற்றல்

படம்-21: பளுவான அணு விற்கும் ஆல்பாத்துகளுக்கும் இடையேயுள்ள மின் அழுத்தத்தைக் காட்டுவது.

(Potential energy) முதலில் அதிகரிக்கின்றது. ஆனால், அது போதுமான அளவு அணுக்கருவிற்கு நெருங்கி வந்துவிட்டால், குறுகிய வீச்சினையுடைய அணுக்கருவின் கவர்ச்சி விசைகள் செயற்படுகின்றன. இறுதியாக அவை மின் விலக்கு விசையை அடக்கியாள்கின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட 'மின் அழுத்த அரண்'(Potential barrier) கடந்தபிறகு, விலக்கு விசை கவர்ச்சி விசையாக மாறுகின்றது; அதிலிருந்து நிலையாற்றல் அணுக்கருவின் உட்புறத்தை நோக்கி அதிகமாகக்

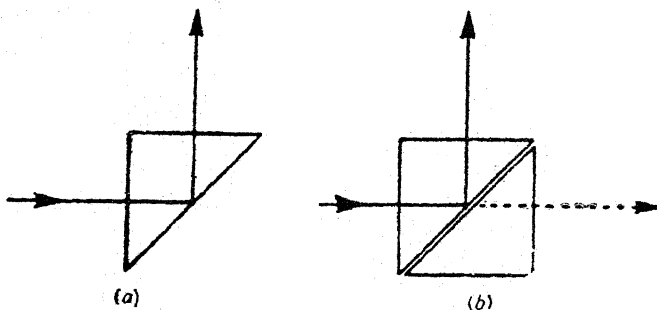
குறைகின்றது. நிலையாற்றலில் ஏற்படும் இந்த மாற்றம் படம் - 21 இல் வளைவரையால் காட்டப்பெற்றுள்ளது.

ஆல்பாத் துகள் அணுக்கருவினின்றும் வெளிநோக்கி வீசி யெறியப்பெறுங்கால், அஃது இந்த நிலைப்புவீச்சினுள்ளும் (Potential range) செல்லுகின்றது; இதில் வீச்சினைக் கடத்து உள்ளிருந்துவெளியே செல்கின்றது. அஃது அணுக்கருவிலிருந்துஅதிக அளவு இயக்க ஆற்றலுடன் அதிக தூரத்தைக் கடந்து செல்லுவதால், அந்தச் சமயத்தில் அதன் மொத்த ஆற்றல் ஒரு நேர் அளவாகவே உள்ளது. காரணம், அதன் நிலையாற்றல் மறைகின்றது. படம்-21இல் அந்தமெய்ம்மை இரண்டுகிடைக் கோடுகளால் (Horizontal lines) குறிப்பிடப்பெறுகின்றது; அவற்றுள் ஒரு கோடு நீண்ட ஆயுளைக்கொண்ட யுரேனியத்தின்மெதுவாகச்செல்லும்ஆல்பாத் துகள்களையும், மற்றொன்று மிகவும் குறுகிய ஆயுளையுடைய தோரியம் c' யினுடைய விரைந்து செல்லும் ஆல்பாத் துகள்களையும் காட்டுகின்றன; அணுக்கருவினின்று ஆல்பாத் துகள் வெளிவரும்பொழுது இந்த ஆற்றலைத் தன்னுடன் சுமந்து செல்வதால், அஃது அணுக்கருவினுள் இருக்கும்பொழுதும் அந்த ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். ஆகவே, யுரேனியத்தின் நேர்க் கோட்டை அணுக்கருவின் உட்புறம் வரையிலும் நீட்டுகின்றோம். அணுக்கருவின் உட்புறம் உள்ள இயக்க ஆற்றல் இன்னும் அதிகமாக இருந்தது என்பது வெளிப்படை; ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் அதன் மதிப்பு நிலையாற்றல் வளைவரையிலிருந்து ஒரு நேர்க்கிடைக்கோட்டின் பிரிப்பினால் குறிப்பிடப் பெறுகின்றது. உட்புறத்தில் இத்துகள் இங்கும் அங்குமாக அதிர்வடைகின்றது என்று, இந்தப் படம் தெரிவிக்கின்றது. அத்துகள் 'மின்அழுத்தக்கொள்கலத்தின்' (Potential container) ஒரு பக்கத்திலிருந்து மற்றொரு பக்கத்திற்கு முன்னும் பின்னுமாகத் தாவிக் குதிக்கின்றது என்றும் நாம் சொல்லலாம். நேர்க்கோட்டால் காட்டப்பெறும் உட்புறத்திலுள்ள ஆற்றல் எப்பொழுதும் அதன் இயக்க ஆற்றல், நிலை ஆற்றல்களின் மொத்தக் கூட்டுத்தொகையாகவே இருக்கும்.

முதல் கண்ணோட்டப் பார்வையிலேயே இந்தத் துகள் எவ்வாறு அணுக்கருவினின்றும் வெளிபடக்கூடும் என்பதைத் தெளிவாகக் காணுதல் சாத்தியப்படாததாகத் தோன்றுகின்றது. ஏனெனில், சாதாரணமான பொறிநுட்பவியல் கருத்துக்களின்படி, மின் அழுத்தக் கொள்கலனின் பக்கங்களைத் தாண்டி வெளிப்புறமாக அதனுல் சிறிதும் நகர்ந்து செல்ல இயலாது; காரணம், நேர்க்கோடு மின் அழுத்த வளைவரையைக் குறுக்கிடும் இடத்தில், இயக்க ஆற்றல் மறைகின்றது; அஃதாவது, துகள் அமைதி நிலையை அடைகின்றது. வெளிப்புற இடத்திலிருந்து உட்புறத்தைப் பிரிக்கும் மின் அழுத்த அரணைக் (Potential barrier) கடந்து செல்வதற்கு அதனிடம் அடங்கியுள்ள ஆற்றல் துணை செய்யாது. எனவே, சம்பிரதாயமான பொறிநுட்ப வியலின்படி, சிதைந்தழியும் இயக்கம் நடைபெறவே முடியாது. மின் அழுத்த அரண் அணுக்கருவின் நிலைப்புடைமைக்கு உறுதியளிக்கக் கூடியதாக இருக்கும். ஆயினும், அணுக்கரு அவற்றைப் போலவே இயக்க நிலையிலுள்ள வேறு துகள்களையும் கொண்டிருக்கலாம் என்றும், இந்தத் துகள்கள் ஆல்பாத் துகளுக்கு ஆற்றலை மாற்றி அது மின் அழுத்த அரணைக் கடந்து செல்வதற்குத் துணை செய்யக்கூடும் என்றும் ஊகிக்க இடம் உண்டு. ஆனுல், அணுக்கரு கிளர்ச்சியுற்ற நிலையிலிருக்கும் பொழுதுதான்—அஃதாவது, அது மிகுதிப்படியான ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும்பொழுதுதான்—இது நிகழ்தல்கூடும்; அணுவின் சாதாரண நிலையில் (Normal state), அத்தகைய மிகுதிப்படியான சுதந்திர ஆற்றல் கிடைப்பதில்லை. ஏனெனில், துகள்கள் இன்னும் கொண்டுள்ள ஆற்றல்—உறுதிப்பாடின்மை விதியின்படி—பூச்சிய - நிலை ஆற்றலாகும். இந்த ஆற்றலைப் பயன்படுத்தவும் முடியாது; அன்றி அதனை வேறு துகள்களுக்கு மாற்றிக்கொள்ளவும் முடியாது.

அலைப் பொறி வகையியலின் துணை:

இங்குத்தான் அலைப்பொறியியல் (Wave mechanics) நமக்குத் துணையாக வந்து அமைகின்றது. ஆல்பாத் துகள்களின்

இயக்கம் அலைப்பொறியியல், குவாண்டம் பொறியியல் (Quantum mechanics) ஆகியவற்றின் விதிகளைத்தழுவி அமை கின்றதேயன்றி சாதாரணப் பொறியியலின் விதிகளால் அன்று. திரும்பத்திரும்பக் கூறப்பெறும் அலைத்துகள் இருமை யின் அடிப்படையில், அணுக்கருவினுள் முன்னும் பின்னும் அதிர்வடைந்து கொண்டுள்ள ஒரு துகளிற்குப் பதிலாக, 'மின் அழுத்தக் கொள்கலனி'ன் சுவர்களிலிருந்து முன்னும் பின்னும் திரும்பிச் செல்லும் ஓர் அலையாக நாம் கருதுதல் கூடும். மேலும், நாம் அதை ஒரு நிலையான அலையாகவும் கற்பனை செய்து கொள்ளலாம். ஆனால், அத்தகைய ஓர்

படம் - 22: ஒரு கண்ணாடிப் பட்டகத்தில் முழு ஒளித்திருப்பத்தைக் காட்டுவது.

அலை இந்தச் சுவர்களிலிருந்து எவ்வாறு திருப்பம் அடை கின்றது என்பதை நாம் விளக்குதல் வேண்டும். எனவே, இந்த நிகழ்ச்சி ஒரு செயலின் அடிப்படையில் அமைந்துள்ளது; அஃதாவது, இரண்டு ஒளிபுகும் விலகல்பொருள்களைப் பிரிக் கும் புறப்பரப்பின் (எடுத்துக்காட்டு: கண்ணாடிக்கும் காற் றுக்கும் இடையேயுள்ள எல்லை தளம்) முழு ஒளித் திருப்பத் தில் இதற்கு ஓர் ஒப்புடைமையைக் காணலாம். எடுத்துக் காட்டாக, இந்த நிகழ்ச்சி ஜெய்ஸ் புலக் கண்ணாடி[8]யின் பட்

8. ஜெயஸ் புலக் கண்ணாடி—Zeiss field glass.

டகங்களில் (Prisms) நிகழ்கின்றது. ஒரு செங்கோண முக்கோணப் பட்டகத்தின் (Right angled triangular prism) குறுகிய பக்கங்களில் ஒன்றன்மீது ஒளி செங்குத்தாக விழுந்தால், அது செம்பக்க (Hypotenuse) மேற்பரப்பில் 45^{0}-இல் விழும். எனினும், ஒளி விலகல் விதியின்படி (Law of refraction) இந்தப் புறப்பரப்பிலிருந்து அது விலகலினுல் வெளிச்செல்ல முடியாது. ஆனுல், அது சரியான ஒளித்திருப்பம் செய்யும்; ஆடி (Mirror) யொன்று ஒளித்திருப்பம் செய்வதைப்போன்று முழுவதுமாகத் திருப்பம் செய்யப்பெறும் (படம்—22a).

இரண்டாவது பட்டகம் ஒன்று முதலாவதன் அருகில் (படம்-22b) வைக்கப்பெற்ருல், அவற்றின் இடையேயுள்ள தூரம் தேவையான அளவு பெரிதாக இருக்கும்வரை யாதொருவித மாற்றமும் நடைபெருது. ஆனுல், இந்தத் தூரம் மிகச் சிறிதாக வருங்கால், இரண்டாவது பட்டகத்திலும் ஒரு சிறிது ஒளி புகக்கூடும். ஏனெனில், முழு ஒளித்திருப்பத்தில் (Total reflection) ஒரு சிறிய அளவு ஒளியாற்றல் எப்பொழுதும் ஒளி திரும்பும் புறப்பரப்பின் ஊடே கசிந்து கொண்டிருக்கும்; ஆனுல் இஃது ஒரு மிகச் சிறியதூரத்திற்கு மட்டிலும் அலை நீள அளவுக்கு ஏற்றவாறு இருக்கும். இரண்டாவது பட்டகம் தேவையான அளவு அண்மையில் கொணரப்பெற்ருல், கசிந்து வந்த ஒளி இரண்டாவது பட்டகத்தை ஊடுருவிச் சென்று அதற்குமேல் சாதாரணமாகச் செல்லக்கூடும். இரண்டு புறப்பரப்புக்களும் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அண்மையில் இருக்கின்றனவோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு அவற்றின் ஊடே செல்லும் ஒளியின் அளவும் அதிகமாக இருக்கும். இரண்டு புறப்பரப்புக்களும் ஒன்ருக இறுகப் பிணைக்கப்பெற்ருல், முழு ஒளித்திருப்பமே நடைபெருது.

அணுக்கருவிலும் பட்டகத்தில் நடைப்பெறுவது போன்ற நிகழ்ச்சி:

இந்த நிகழ்ச்சியோடு ஒப்புடைமைகொண்ட ஒன்றுதான் ஆல்பாத் துகள்களின் அலைகளிலும் நடைபெறுகின்றது. இந்த ஒப்புடைமையில் அணுக்கருவின் உட்புறம் ஒருபட்டகத்திற்குச் சமமாகவும், வெளியிடம் மற்ெருரு பட்டகத்திற்குச் சமமாக வும் இரண்டற்கும் இடையேயுள்ள மின் அழுத்த அரண் இரண்டு சமபட்டகங்களையும் பிரித்து நிற்கும் காற்றின் படலத்திற்குச் (Leyer) சமமாகவும் கொள்ளப்பெறுதல் வேண்டும். சில அலைகள் எப்பொழுதுமே அரணுள் புகுந்து செல்லும்; அரண் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு மெல்லிதாக இருக்கின்றதோ, அவ்வளவுக்கவ்வளவு அலைகளின் அதிக அளவு வெளியிடத்திற்குத் தப்பிச் செல்லும். இந்தச் சந்தர்ப்பத்தில் துகளின் கிடையாற்றலின் மட்டத்திற்கு (Horizontal energy level) மேல் எழும் மின் அழுத்த வளைவரையின் பகுதியே 'அரண்' எனப்படும். இதிலிருந்து, மட்டம் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிகமாக உள்ளதோ—ஆகவே, ஆல்பாத் துகளின் ஆற்றல் எவ்வளவுக் கெவ்வளவு அதிகமாக உள்ளதோ—அவ்வளவுக் கவ்வளவு ஆல்பாத் துகள்களின் அலைகளுக்கு அதிகமாக ஒளி புகும் தன்மையை அரண் பெற்றிருக்கும் என்பது தானுகவே பெறப்படுகின்றது; ஏனெனில், அடக்கியாள வேண்டிய மின் அழுத்த அரண் அதற்கேற்றவாறு குறுகியே இருக்கும். எனவே, உட்புறத்தில் மட்டிலும் தொடக்கத்தில் அலைகள் இருப்பதாகப் பாவனை செய்துகொண்டு, காலம் அதிகம் ஆக ஆக, வெளிப்புறத்திலும் அவற்றின் அளவு மிக அதிகமாக இருப்பதைக் காணலாம்; இந்த அளவு, துகளின் ஆற்றலின் அதிகரிப்பிற்கேற்ப அதிகப்படுவதையும் நாம் காணலாம்.

துகள்-கூறுமொழியிலும் மேற்கூறிய நிகழ்ச்சியின் விளக்கம்:

இனி, அலைக்கூறின் மொழியில் கூறிய விவரம் துகள்-கூறின் மொழியில் திரும்பவும் மொழி பெயர்க்கப்பெறுதல் வேண்டும். இவ்வாறு செய்வதில், நாம் அணுக் கருவின் புறத்தமைப்பினுள் அமைந்துள்ள நிலைமைகளை ஆராய்ந்த பொழுது நாம் அலைப்பொருளின் செறிவு நாம் ஆராயும் காலத்தில் தாக்குறும் ஆல்பாத் துகள்களின் அளவின் ஏற்படு நிலையை உண்டாக்குகின்றது என்று உரைத்ததை நினைவில் கொள்ள வேண்டும். ஆனால், அணுக்கருவின் வெளிப் புறத்தில் இந்தச் செறிவு—ஆகவே, அணுக்கருவின் வெளிப்புறத்தில் ஆல்பாத் துகள்களைக் கண்டறிவதன் ஏற்படு நிலை—ஆற்றல் மிகுந்துள்ள துகளை நாம் கையாளும்பொழுது வேகமாக அதிகரிக்கின்றது; நம்முடைய துகளின் ஆற்றல் குறைவாக உள்ளபொழுது மிக மெதுவாக அதிகமாகின்றது. ஒரு துகளின் ஆற்றல் எவ்வளவுக் கெவ்வளவு அதிகமாக உள்ளதோ, அவ்வளவுக்கவ்வளவு அஃது உட்புறத்தில் காணப் படாமலும், ஆனால் வெளிப்புறத்தில் காணப்படுதலும் ஆகிய ஏற்படு நிலையை அதிகமாகப் பெறுகின்றன; அஃதாவது, மிகக் குறுகிய கால அளவிற்குள் அது வெளிப்புறத்தில் வீசி யெறியப்பெறுகின்றது. ஆற்றல் குறைவாகவுள்ள ஆல் பாத் துகள்களிடம் இருப்பதைவிட ஆற்றல் அதிகமாகவுள்ள ஆல்பாத் துகள்களிடம் சிதைந்தழியும் ஏற்படுநிலை மிக அதிகமாக இருப்பதன் மெய்ம்மைக்கு விளக்கம் காண்கின்றோம். இந்தக் கருத்தினைக் குறிப்பிடும் கணிதக் கோவை கைகர்-நட்டாலின் விதியுடன் திருப்திகரமாக இணைகின்றது.

குடை வழி விளைவு:

நாம் துகள்-கூறின் மொழியில் சற்றுமுன்னர் ஆராய்ந்த விளைவின் விவரத்தின் சுருக்கத்தைக் கூற விரும்பினால், ஆற்றல் அழியா விதியின் அடிப்படையில் நாம் எதிர்பார்ப்பவை

களுக்கு மாருக, ஒரு குறிப்பிட்ட கால எல்லைக்குப் பிறகு (அக்கால எல்லையின் நீட்டம் தற்செயலாக ஏற்படுவதே) அத்துகள் ஒரு குடைவழி வழியாக வெளிப்படுவதுபோல மின் அழுத்த அரணைத் தகர்த்துக் கொண்டு வெளிவர முடிகின்றது. ஆகவே, இன்று 'குடைவழி விளைவு' (Tunnel effect) என்று பேசுவது வழக்கமாகி விட்டது.

பளுவான தனிமங்களிடம் மட்டிலுமே சிதைந்தழிதல் காணப்பெறுதல்:

ஆவர்த்த அட்டவணையில் துத்தநாகத்திற்கு மேலுள்ள எல்லாத் தனிமங்களும் ஆல்பாச் சிதைந்தழியும் நிலையில் உள்ளன என்று எதிர்பார்க்கப்பெற்றபோதிலும், இந்தச் சிதைந்தழிதல் மிகப் பளுவான தனிமங்களிடம் மட்டிலுமே காணப்படத்தக்கதாக உள்ளது. நாம் நன்கு அறிந்த, ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிடும் தனிமங்களுக்கும் ஆற்றலியலைப் பொறுத்தவரை ஆல்பாக் கதிர்வீசலை வெளிவிடுவதற்குத் தகுந்ததாகவுள்ள தனிமங்களுக்கும் இடையில் தெளிவாகப் பிரிவு செய்து காட்டக்கூடிய கோடு ஒன்று இல்லை என்பதை ஊகிப்பது காரண காரிய முறைக்குப் பொருத்தமாக இருக்கும். ஆனல், அவ்வாறு இருப்பது ஒரு பொழுதும் அறியப் பெறவில்லை. ஆவர்த்த அட்டவணையில் துத்தநாகத்திற்கு மேலுள்ள தனிமங்களில் பெரும்பாலானவை உண்மையில் ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிடுதல் சாத்தியமாகலாம்; ஆனல், இந்தத் துகள்களின் ஆற்றலும் வீச்சும் மிகச் சிறியனவாகவே உள்ளன. இந்த இரண்டு கூறுகளும் நாம் நடைமுறையில் அவற்றை உற்று நோக்க இயலாமையை மிக நன்ருக விளக்குகின்றன. எனினும், அத்தகைய கதிரியக்கம் பெரும்பாலும் நமக்குப் புலனுவதில்லை; காரணம், ஆற்றலின் குறைந்த அளவு மிகக் குறைந்த தன்மையுடனுள்ள சிதைந்தழிதல் ஏற்படு நிலையுடன் (Decay probability) பொருந்துவதாக உள்ளது. ஏனெனில், அத்தகைய ஒரு தனிமம் அடிக்கடி நிகழாத இடைநேரங்களில் ஓர் ஆல்பாத் துகளினை வெளி

விடலாம் என்றிருந்தபோதிலும், அஃது இவ்வண்டத்திற்குரிய கால அளவுகளால் அளந்தாலும் (Cosmical time standards)கூட, அஃது எல்லா நடைமுறைச் செயல்களுக்கும் நிலைப்புடைமையுடனேயே உள்ளன.

(II) பீட்டாக்கதிர்களை வெளி விடுபவை

தாமாக உரு மாற்றம் அடைபவை—பீட்டாக்கதிர்களை வெளி விடுபவை:

இனி, நாம் தாமாக உருமாற்றம் அடையும் இரண்டாவது வகை அணுக்கருக்களில் நம் கவனத்தைச் செலுத்துவோம். இந்த மாற்றம் பீட்டாக் கதிர் வீசலுடன் நடைபெறுகின்றது; அஃதாவது, நியூட்ரினோவுடன் சேர்ந்து எலக்ட்ரான்கள் அல்லது பாசிட்ரான்கள் வெளிவிடப் பெறுகின்றன. இத்தகைய உருமாற்றங்கள் ஆற்றல் அழியா விதிகளுடன் பொருந்துவதாக இருக்கும்பொழுது, அதிலும் சிறப்பாக அச்செயலில் அணுக்கருவினின்றும் ஆற்றல் வெளிவிடப்பெறும்பொழுது, அவை நிகழ்கின்றன. இங்கும், மாற்றம் அடைவதற்கு முன்கூட்டித் தேவையானவை யாவும் இருக்கும்பொழுதுகூட ஏன் ஓர் அணுக்கரு உடனே உரு மாற்றம் அடைவதில்லை என்ற வினா எழுகின்றது.

குறுகிய ஆயுளை உடையவை:

பீட்டாக் கதிர்களை வெளிவிடும் தனிமங்களுக்கிடையேயுள்ள ஆயுட்காலங்களின் வேற்றுமைகள் ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிடும் தனிமங்களிடையே காணப்பெறும் ஆயுட்காலங்களின் வேற்றுமைகளைவிடச் சிறியனவாகவே உள்ளன. பீட்டாக் கதிர்களை வெளிவிடும் தனிமங்களின் அரை-வாழ்வுகள் ஒரு சில வினாடிகளிலிருந்து ஒரு சில ஆண்டுகள்வரையிலும் மாறுகின்றன. அவற்றுள் மிகச் சில தனிமங்களே நீண்ட அரை-வாழ்வைப் பெற்றுள்ளன.

ஆல்பாக் கதிர்களை வெளிவிடும் தனிமங்களின் பண்புகளை விளக்குவதற்கு நாம் பயன்படுத்திய அதே காரணங்களைக் கொண்டு பீட்டாக்கதிர் வீசலுக்கும் விளக்கம் தருதல் இயலாது; அஃதாவது, எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடும் தனிமங்களுக்கு இக்காரணங்கள் பொருந்தா. காரணம் என்ன வெனில், ஒவ்வொரு எலக்ட்ரானும் எதிர்மின்னூட்டத்தைப் பெற்றுள்ளது. ஆகவே, அஃது அணுக்கருவிற்கு வெளியி லிருக்கும்பொழுது, அதனால் கவரப்பெறுகின்றது. எனவே, இதில் 'மின் அழுத்த அரண்' என்பது இல்லை. எனினும், எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடும் தனிமங்களுக்கும் பாசிட்ரான் களை வெளிவிடும் தனிமங்களுக்கும் சிறப்பான வேற்றுமை யொன்றும் இல்லாததால், பாசிட்ரான்களை வெளிவிடும் தனி மங்களுக்கும் எலக்ட்ரான்களை வெளிவிடும் தனிமங்களுக்கும் இடையே ஓர் ஒப்புடைமை இருப்பதாக நாம் கருத முடி யாது. மேலும், இன்னோர் மெய்ம்மையும் உள்ளது: அஃதா வது, எலக்ட்ரான்களும் பாசிட்ரான்களும் தம்முடன் ஒருங்கே வெளிவரும் நியூட்ரினோக்களுடன் சேர்ந்து ஆல்பாத் துகள் போல, அணுக்கருவின் முழுப் பகுதிகளாக அமைவதில்லை. ஆனால், அணுக்கரு உருமாற்றம் உண்மையில் நிகழும் பொழுதுதான், அவை அணுக்கருப்புலத்திலிருந்து உண்டாக்கப் பெறுகின்றன. அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பிலிருந்து வெளிவிடப்பெறும் ஃபோட்டான்களோடு கூடிய ஓர் ஒப் புடைமை இஃதுடன் காரணகாரிய முறையில் பொருந்த கூடும் எனத் தோன்றுகின்றது.

அனுபவத்தில், பீட்டாக்கதிர்களை வெளிவிடும் தனிமங் களின் சிதைந்தழியும் ஏற்படு நிலையும் பீட்டாத்துகள்களின் ஆற்றலுக்கேற்றவாறு அதிகரிக்கின்றது என்பது பொதுவான உண்மையாக உள்ளது. ஒவ்வொரு எலக்ட்ரானும் பாசிட் ரானும் நியூட்ரினோவுடன் சேர்ந்தே வெளி வருகின்றது என் பதை நினைவில் இருத்தல் வேண்டும்; ஏற்கெனவே குறிப்பிட் டதுபோல, இயக்கம் அல்லது சிதைந்தழியும் ஆற்றல் புள்ளி விவர இயல் விதிகளின்படி (Statistical laws) இணைதுகள்

களால் பகிர்ந்து கொள்ளப்பெறுகின்றது. ஆகவே, மிகமிக வேகமாகச் செல்லும் பீட்டாத்துகளின் ஆற்றல் சிதைந்தழியும் ஆற்றலை உறுதிப்படுத்தக்கூடியதாகவுள்ளது; இது பீட்டாத் துகளின் நியூட்ரிஞே சிதைந்தழியும் ஆற்றலில் சிறிதும் பகிர்ந்து கொள்வதில்லை.

மின்-அலைக் கொள்கையின் துணை:

இனி, மின்-அலைக் கொள்கையின் துணையைக்கொண்டு ஆற்றலுக்கும் சிதைந்தழிதல் ஏற்படு நிலைக்கும் உள்ள உறவு முறையினை நாம் அறிந்து கொள்வோம். ஏனெனில், ஒரு பீட்டாக் கதிர்வீசல் அணுக்கருவின் புறத்தமைப்பிலிருந்து வெளிடப்பெறும் ஒளியுடன் உண்மையில் ஒப்பிடப் பெறுதல் வேண்டும். இப்பொழுது நாம் அலைக்கூறு மொழியில் சிந்தனை செய்து கொண்டுள்ளோம். ஆகவே, நாம் அணுக்கருவிலிருந்து நியூட்ரிஞேவுடன் வெளிவரும் எலக்ட்ரான் அல்லது பாசிட்ரான் அலை என்று பேசுகின்றோம். இந்த அலையை நாம் வாஞெலியின் வான்கம்பியிலிருந்து (Aerial) வெளியிடப் பெறும் மின் அலையுடன் ஒப்பிடுவோம்.

பிளாங்க் விதியின் பிரயோகம்:

$E = h\nu$ என்ற பிளாங்கின் விதி இந்தச் சடப் பொருள் அலைகளுக்கும் பொருந்துகின்றது; அவ்விதி E என்றஅலைகளின் ஆற்றலையும் ν என்ற அவற்றின் அதிர்வு-எண்ணையும் இணைக்கின்றது. இதில் E என்பது பீட்டாத் துகள்களின் ஆற்றல் ஆகும்; இன்னும் சற்றுச் சரியாகக் கூறினுல், அஃது எலக்ட்ரானின் பங்கிற்கு வரும் சிதைந்தழிதல் ஆற்றலின் பகுதியாகும். சிதைந்தழிதல் ஏற்படுநிலை ஆற்றலைப்போல அதிகரித்தால், ν-இன் அளவு எவ்வளவுக்செவ்வளவு பெரியதாக இருக்கின்றதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு சிதைந்தழில் ஏற்படுநிலையும் அதிகமாக இருக்கும். ஆகவே, கதிர்வீசலின் அலை நீளமும் அதற்கேற்றவாறு குறுகியதாக இருக்கும். அதிர்ந்து

கொண்டிருக்கும் ஒரு வான் கம்பியின் இரட்டைத் துருவத் திருப்பு திறன் (Dipole moment) மாருத நிலையிலிருக்கும்படி வைத்திருக்கப்பெற்ருல், அதிர்வு-எண் எவ்வளவுக்கெவ் வளவு அதிகமாக இருக்கின்றதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு கதிர் வீசலும் உறைப்பாக(Stronger)இருக்கும். திருப்புதிறன்மாருத நிலையிலிருக்க வேண்டுமாயின், அலேவியற்றும் சுற்றின் மின் தங்கியின் (Condenser) தட்டுகளுக்கிடையில் உச்சநிலே வோல்ட்டு அளவு மாருதிருக்க வேண்டும். ஒரு புள்ளியில் அலேகளின் உறைப்பு அதிர்வு-எண்ணின் நான்கு அடுக்கிற்கு (Fourth power) விகித சமமாகவுள்ளது. பீட்டாக் கதிர் வீசவின் அலேகளேப் பொறுத்தவரை நிலேமை ஒரே ஒரு வேறு பாட்டுடன் அதனேயொத்தே உள்ளது; அஃதாவது, அதனு டைய ஆற்றல் அதிர்வு-எண்ணின் நான்கு அடுக்கிற்கு விகித சமமாக இல்லே; ஆனல்—ஃபெர்மி[9] என்பாரால் மேற்கொள் ளப் பெற்ற நுண்ணிய கொள்கை நிலேப் பகுத்தறி முறை (Thearetical analysis) காட்டுகின்றபடி—அஃது அதிர்வு-எண் ணின் ஆறு அடுக்கிற்கு விகித சமமாக உள்ளது. ஆகவே, சிதைந்தழிதல் ஏற்படுநிலே (ஒரு விஞடியில் வெளிவிடப் பெறும் ஆற்றலேத் தனிப்பட்ட சிதைந்தழிதல் ஆற்றலால் வகுத்து வரும் ஈவு) சிதைந்தழிதல் செயலுக்குக் கிடைக்கக் கூடிய ஆற்றலின் ஐந்தாம் அடுக்கிற்கு விகித சமமாக உள் ளது என்பது பெறப்படுகின்றது.

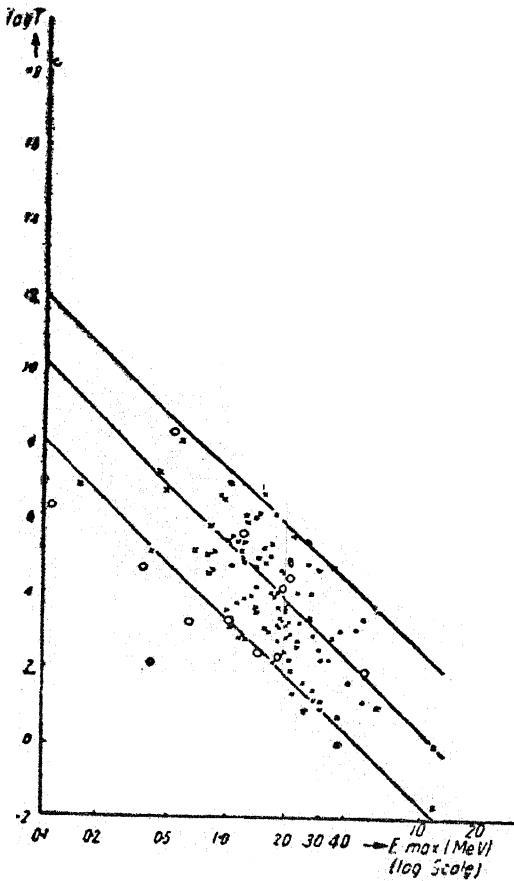
இன்னெரு கருத்தினேப்பற்றிய புதிய ஆராய்ச்சி:

மேற்கூறிய ஆராய்ச்சிகள் (Considerations) பொதுப் படையான உண்மை நிலேகளே எடுத்தியம்புகின்றனவே யன்றி, அவை அளவறி முறையில் சரியாக இருக்கும் என்று சொல்லுவதற்கில்லே. இந்தப் பொருளேப்பற்றி முழுவதும் புரிந்து கொள்வதற்கு முன்னதாக, இன்னெரு ஆராய்ச்சியை யும் நாம் கருதவேண்டும். வான்கம்பியின் இரட்டைத் துருவத்

9. ஃபெர்மி—Fermi

திருப்புதிறன் மாருத நிலையிலிருப்பதாக நாம் சங்கற்பித்துக் கொண்டோம். எனினும், பல்வேறு அணுக்கருவகைகளில் ஒவ்வொன்றுக்கும் இது பொருந்தும் என்று நாம் எதிர் பார்க்க முடியாது. அதற்கு மாருக, அதிகமான தனிப்பட்ட வேற்றுமைகள் இருப்பதாக நாம் எதிர்பார்க்க வேண்டும்; உண்மையில் அத்தகைய வேற்றுமைகள் இருக்கத்தான் செய் கின்றன. ஆகவே, சிதைந்தழிதல் ஏற்படுநிலை இரண்டு காரணிகளின் பெருக்குத் தொகையாக இருக்க வேண்டும் என நாம் எதிர்பார்க்கலாம்; இவற்றில் முதலாவது, இரட் டைத் துருவத் திருப்பு திறனிலிருந்து அறுதியிடம் பெறுகின் றது; இரண்டாவது, சிதைந்தழிதல் ஆற்றலின் ஐந்தாவது அடுக்கிற்கு விகித சமமாக உள்ளது.[10] படம்-23 ஆயுட் காலங்களின் சுருக்கத்தைக் காட்டுகின்றது. ஆகவே, அது பீட்டாக்கதிர்களை வெளிவிடும் பொருள்களின் சிதைந் தழிதல் ஏற்படு நிலைகளையும் ஆற்றல்களையும் காட்டுகின் றது. ஓர் அளவின் அடுக்கு (Power) மற்ருேர் அளவின் அடுக்கிற்கு விகித சமமாக இருப்பதாகப் பாவிக்கப் பெற்ருல், அந்த அளவுகளை (அளவின் அடுக்குகளை அல்ல; அவற்றின் மடக்கைகளை) துணை ஆயங்களில் பதிவு செய்தல் சௌகர்யமானது; காரணம், மடக்கைகள் ஒன்ருேடொன்று ஒருபடிச் சார்பில் உறவு கொண்டிருக்கும். எனவே, படம்-23 மடக்கை Tயை (log.T) மடக்கை Eயின் சார்பலனைக் காட்டுகின்றது. இங்கு T என்பது விஞடி அளவுகளில் அளக்கபபெற்ற அரை-வாழ்வைக் குறிக்கின்றது. இரண்டு ஆயங்களிலுள்ள அள வுத் திட்டங்கள் (Scales) 5 என்ற காரணியால் வேறுபடு கின்றன. ஐந்தாவது-அடுக்கு விதி (Fifth-power law) செல் லத்தக்கதாக இருந்தால், பீட்டாக்கதிர்களை வெளிவிடும் எல்லாப் பொருள்களும் ஆயங்களுடன் 135^0 உண்டாக்கும்

---

10. சிதைந்தழிதல் ஆற்றல் எடுத்துக்கொள்ளப்பெறும் அணுக்கருவின் பருமனிலிருந்து அளவறி முறையில் அறுதி யிடப் பெறுவதால் அஃது ஓர் அணுக்கருவிற்கும் பிறிதோர் அணுக்கருவிற்கும் அதிக அளவில் மாறுபடக்கூடும்.

படம்-23: இயற்கையாகவும் செயற்கைமுறையிலும் உண்டாக்கப் பெறும் பீட்டாக் கதிர்களை வீசும் துகள்களின் ஆயுளையும் ஆற்றலையும் காட்டுவது.

ஒரு நேர்க்கோட்டின்மீது அமைய வேண்டும். உண்மையில், பெரும்பாலும் அனுபவ அளவுகள் அத்தகைய இரண்டு கோடுகளுக்கிடையிலேயே அமைகின்றன; இரண்டு கோடுகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம் ஓர் அணுக்கருவிலிருந்து மற்றோர் அணுக்கருவிற்குள்ள இரட்டைத் துருவத் திருப்பு திறன்களின் ஏற்ற-இறக்க (Fluctuation) அளவினைத் தருகின்றது.

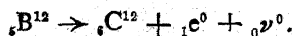
ஒரு சில வாய்பாடுகள்:

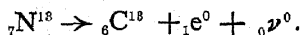
வேறு சிதைந்தழிதல் செயல்களை ஆராயப்புகுவதற்கு முன்னர், ஆல்பாக் கதிர்வீசலையும் பீட்டாக் கதிர்வீசலையும் கொண்ட ஒருசில செயல்களின் வாய்பாடுகளை (Formulae) எழுதிக்காட்டுவோம். யுரேனிய அணு ($_{92}U^{238}$) ஓர் ஆல்பாத் துகளினை $_2He^4$ வெளிவிட்டு சிதைந்தழியுங்கால், அச்செயலினின்றும் உண்டாகும் விளைபொருள், பொருண்மை-எண் 234உம் அணு-எண் 90உம் கொண்ட யுரேனியம் X_1, $_{90}UX_1^{234}$ என்பது. இந்தச் செயலை அடியிற்கண்டவாறு எழுதுகின்றோம்:

$$_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}UX_1^{234} + {}_2He^4.$$

எப்பொழுதும்போலவே, பொருண்மை-எண்களும் அணு-எண்களும் (குறியீடுகளின் மேலுள்ள எண்ணும் கீழுள்ள எண்ணும்) அம்புக் குறியின் இரண்டு பக்கங்களிலும் சமனிலையாகவேண்டும்.

எடுத்துக்காட்டாக, போரன் அணு $_5B^{12}$ ஓர் எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு கார்பன் அணுவாக $_6C^{12}$ மாறுகின்றது. எலக்ட்ரானுடன் ஒரு நியூட்ரினோவும் வெளிவிடப் பெறுகின்றது. அதன் நிலைப்பொருண்மையும் மின்னூட்டமும் O ஆகும்; ஆகவே, அதன் குறியீடு $_0\nu^0$ என்பதாகும். ஆகவே, நாம் அதனை இவ்வாறு எதுழுகின்றோம்:

$$_5B^{12} \rightarrow {}_6C^{12} + {}_1e^0 + {}_0\nu^0.$$

பாசிட்ரானை வெளிவிடுவதற்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டு நைட்ரஜன் அணு $_7N^{13}$ ஆகும்; அஃது ஒரு பாசிட்ரானையும் $_1e^0$ நியூட்ரினோவையும் வெளிவிட்டுக் கார்பன் அணுவாக ($_6C^{13}$) மாறுகின்றது. இச் செயலின் வாய்பாடு இது:

$$_7N^{13} \rightarrow {_6C^{13}} + {_1e^0} + {_0\nu^0}.$$

(III) தானாக நேரிடும் அணுக்கரு உரு மாற்றத்தின் வேறுவகைகள்

எலக்ட்ரானின் சிறையீடு:

கதிரியக்க உருமாற்றத்தில் ஆல்பாக் கதிர்வீசலையும் பீட்டாக் கதிர்வீசலையும் வெளிவிடும் வகைகளே அடிக்கடி நிகழ்பவைகளாகும். எனினும், ஏற்கெனவே மேம்போக்காகக் குறிப்பிடப்பெற்ற மூன்றாவது செயலும் உண்டு; இது கிட்டத்தட்ட எலக்ட்ரானை வெளிவிடும் செயலின் மறுதலையாகும். ஆற்றலியலைப் பொறுத்தவரை ஒரு புரோட்டான் நியூட்ரானாக மாறுவது பயனுள்ளதாக இருப்பின், இந்த மாற்றத்தை இரண்டு வெவ்வேறு வழிகளில் முற்றுவிக்கலாம். அவற்றுள் ஒன்றனை—பாசிட்ரானை வெளிவிடுதலை—ஏற்கெனவே ஆராய்ந்துள்ளோம். எனினும், அணுக்கரு அதன் கோள்நிலை எலட்ரான்களில் ஒன்றனை உட்கவருங்கால், அதே விளைவுதான் உண்டாகின்றது; இதில் எலக்ட்ரான் (உட்கவரப்பெறும் ஒரு ஃபோட்டான் மறைவதுபோல) இயல்பாக மறைகின்றது; காரணம், அதன் மின்னூட்டம் புரோட்டானின் மின்னூட்டத்தை ஈடு செய்து அதனை ஒரு நியூட்ரானாக மாற்றுகின்றது. இந்தச் செயல் 'எலக்ட்ரான் சிறையீடு' (Electron capture) என்று வழங்கப் பெறுகின்றது. இந்தச் செயலில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் வெளிவிடப்பெறாததால், வெளியிலிருந்துதான் எக்ஸ் கதிர் வெளிவிடுதலின் காரணமாக இச்செயல்(K-கதிர்வீசல்)உற்று நோக்க பெறுதல்வேண்டும்; காரணம், உட்கவரப்பெற்ற எலக்

ட்ரான் மிகஉள்ளிருக்கும் எலக்ட்ரான் கூட்டிலிருந்து(K-கூடு) வெளிவருகின்றது. இந்தச் செயல் அணுக்கரு மின்னூட்டத்தில் (அணு-எண்ணில்) ஓர் அலகினைக் குறைப்பதால், எஞ்சியுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை (தொடக்கத்திலிருந்த கோள் நிலை எலக்ட்ரான்களில் ஒன்று குறைந்தது) புதிதாக உண்டாக்கப்பெறும் அணுவிற்குப் போதுமானது. ஆனால், எஞ்சியுள்ள கோள்நிலை எலக்ட்ரான்கள் தமக்குத் தாமே திரும்பவும் ஒருமுறை தொகுதியாக்கிக் கொள்ளவேண்டும்; அணுக்கருவிற்குத் தொலைவிலுள்ள கூட்டில் இடம் பெற்றிருக்கும் ஓர் எலக்ட்ரான்,சிறையீடு செய்யப்பெற்ற எலக்ட்ரான் காலியாக்கிய இடத்தில் விழுந்து அந்த இடத்தைப் பெறுகின்றது. இஃது எக்ஸ் கதிரினை உண்டாக்குகின்றது; இதுதான் K-கதிர்வீசல் என்பது; இது மேற்கொள்ளப்பெறும் தனிமத்தின் சிறப்பியல்புடன் மிளிரும். அதே சமயத்தில், அணுவின் கோணத் திருப்புதிறன் அல்லது அணுவின் தற்சுழற்சி அழியாதிருப்பதற்காக—சிறையீடு செய்யப்பெற்ற எலக்ட்ரானின் கோணத் திருப்புதிறன் $\frac{1}{2}\hbar$ ஆக இருப்பதால்—ஒரு நியூட்ரினோ வெளிவிடப்பெறுகின்றது.

பெரிலிய அணுக்கருவில் இத்தகைய நிகழ்ச்சி:

எடுத்துக்காட்டாக, இத்தகைய செயல் பெரிலிய அணுக்கருவில் $_4Be^7$ நிகழ்கின்றது; இந்த அணுக்கரு செயற்கை முறையில் உண்டாக்கப்பெற்ற பெரில்யத்தின் கதிரியக்க ஐசோடோப்பு (Radioactive isotope) ஆகும். ஒரு கோள் நிலை எலக்ரானைச் சிறையீடு செய்துகொண்டு, அஃது ஒரு லிதிய அட்கருவாக $_3Li^7$ மாறுகின்றது. இச்செயலை விளக்கும் வாய்பாடு இது:

$$_4Be^7 + {}_{-1}e^0 \rightarrow {}_3Li^7 + {}_0\nu^0$$

இத்தகைய செயல்கள் மிகஅரியனவாகவும் இல்லை. அவை சுமாரான அரை-வாழ்வுகளுடன் அடிக்கடி தொடர்பு கொண்டுள்ளன. $_4Be^7$-இன் அரை வாழ்வு கிட்டத்தட்ட ஐம்பத்து

மூன்று நாட்கள் ஆகும். நம்முடைய அட்டவணை IVஇல் K-சிறையிட்டால் மாற்றம் அடையும் அணுக்கருக்கள் வட்டங்களால் காட்டப்பெற்றுள்ளன.

மற்றும் ஒரு செயல்:

இறுதியாக, மற்றும் ஒரு செயல்உள்ளது; அது 1938இல் ஹான்[11], ஸ்ட்ராஸ்[12] என்ற இரண்டு அறிவியலறிஞர்களால் கண்டுபிடிக்கப்பெற்றது. இதுவும் ஏற்கெனவே குறிப்பிடப்பெற்ற இயக்கமே; இதில் அணுக்கருக்கள் கிட்டத்தட்ட இரண்டு சமபாகங்களாகப் பிளவுறுகின்றன. சில சமயம் அது தானாகவும் நிகழலாம். ஆனால், இந்தச் செயல் ''செயற்கை முறையில் தூண்டப்பெற்ற அணுக்கரு உருமாற்றங்கள்'' (Artificially induced nuclear transmutations) என்ற தலைப்பின் கீழ் ஆராயப்பெறும்.

(IV) செயற்கை முறையில் தூண்டப்பெறும் அணுக்கரு உருமாற்றங்கள்.

அணுக்கருவின் உருமாற்றம்:

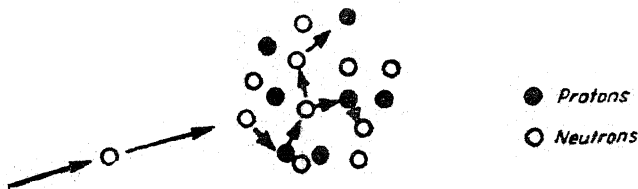
ஏதாவது ஒரு துகளினைக்கொண்டு ஓர் அணுக்கருவினைத் தாக்கிச் செயற்கை முறையில் அணுக்கரு உருமாற்றத்தினை உண்டாக்கலாம் என்பதை முதன் முதலாகச் செய்து காட்டியவர் ரதர்ஃபோர்டு என்ற அறிவியலறிஞர். பெரும்பான்மையான செயல்களில் இந்தத் துகள் யாதொரு இயக்கத்தையும் உண்டாக்காது அணுக்கருவினுள் தங்கிவிடும். ஆனால், ஏதாவது ஒரு துகள் அதற்குப் பதிலாக அணுக்கருவினால் வெளிவிடப் பெறுகின்றது. இவ்வாறு வெளிவிடப்பெறும் துகள் முதல் துகளின் வகையைச் சேர்ந்ததாக இராவிட்டால் இந்த

---

11. ஹான்-Hahn
12. ஸ்ட்ராஸ்மன்-Strassmann

இயக்கம் 'அணுக்கருவின் உரு மாற்றம்' என்ற பெயர் பெறுகின்றது.

போர் என்பாரின் கொள்கை:

போர்[13] என்பார் அத்தகைய இயக்கத்தைக் குறித்து அடியிற் காணும் கொள்கையை முறைப்படுத்திக் கூறியுள்ளார்: ஒரு துகள் அணுக்கருவினை நோக்கி வீசியெறியப் பெற்றுஅதனைத் தாக்கினால், சாதாரணமாக அஃதுஅவ் அணுக் கருவில் தங்கிவிடுகின்றது. இதற்குக் காரணம் யாதெனில், அத்துகள் மிக வன்மையான அணுக்கரு விசைகளால் இறுகப் பிடித்துக்கொள்ளப்பெறுகின்றது. இதன் விளைவாக இத்

படம்-24: ஓர் அணுக்கருவினைத் துளைத்துச் செல்லும் நியூட்ரானைக் காட்டுவது.

துகளின் ஆற்றல் மிக விரைவாக அணுக்கருவினிலிருக்கும் ஏனைய துகள்களிடையே வினியோகிக்கப்பெறுகின்றது; அதன்பிறகு அவ்வாற்றல் அணுக்கரு முழுவதும் பரவிவிடு கின்றது. படம்-24, அணுக்கருவின் ஒரு திட்டப் படத்தைக் காட்டுகின்றது. ஒரு நியூட்ரான் வெளியிலிருந்து அணுக்கரு வினை நோக்கி நெருங்கி வந்து கொண்டிருக்கின்றது. வெள்ளை வட்டங்களும் கறுப்பு வட்டங்களும் முறையே அணுக்கரு விலுள்ள நியூட்ரான்களையும் புரோட்டான்களையும் குறிப்பிடு கின்றன. அம்புக்குறிகளால் காட்டப்பெற்றுள்ளவாறு, இந்த அணுக்கருத் துகள்கள் வெளியிடத்தைச் சார்ந்த ஒரு

13. போர்-Bohr.

நியூட்ரானிடமிருந்து (Foreign neutron) ஒரு தாக்குதலைப் பெறுகின்றது; அதன் பிறகு அவை மற்றைய துகள்களுடன் மோதுகின்றன. நியூட்ரான் அணுக்கருவின் உட்புறத்தைத் துளைத்துச் சென்று அதன் ஆற்றல் அங்குள்ள எல்லாத் துகள் களினிடையேயும் வினியோகிக்கப்பெற்றுவிட்டால், அந்த நிலையை மிக எளிதாக அடியிற்கண்டவாறு கூறலாம்: அணுக் கரு சூடாக்கப்பெறுகின்றது. ஒரு குவியல் மணலினுள் ஒரு துப்பாக்கிக் குண்டு சுடப்பெறும்பொழுது மணல் முழுவதும் இதே மாதிரிதான் சூடாக்கப்பெறுகின்றது. மணல் குவிய லினுள் உள்ள மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றலின் அதிகரிப்பு அக்குவியலின் வெப்பநிலை உயர்வுடன் பொருந்துகின்றது என்பதை நாம் நினைவிற்கொண்டால், இந்த இயக்கம் ஒரு நுண்ணிய அமைப்பினைச் சூடுபடுத்துவதுடன் ஒப்பாக அமைந் துள்ளது. ஓர் அணுக்கருவினுள், மூலக்கூறுகளுக்குப் பதிலாக நியூட்ரான்களையும் புரோட்டான்களையும்பற்றிப் பேசுகின் றேம்; இயக்க ஆற்றல் அணுக்கருவின் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது.

அணுக்கரு அடையும் வெப்பநிலை:

இவ்வாறு ஓர் அணுக்கருவினுல் அடையப்பெறும் வெப்ப நிலை — எடுத்துக்காட்டாக, கிட்டத்தட்ட 8 Mev ஆற்றல் அதனுள் செலுத்தப்பெறுங்கால்—வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை (Kinetic theory of gases) விதிகளையொட்டி பத்தா யிரம் மில்லியன் சுழி (Degree) அளவுள்ளதாக உள்ளது; அஃது இவ்வகிலத்திலுள்ள மிக உயர்ந்த வெப்பநிலைகளைவிட கிட்டத்தட்ட ஓராயிரம் மடங்கு அதிகமாக உள்ளது; அது நிலையாகவுள்ள விண்மீன்களின் அகடுகளில் (Interiors) உள்ள வெப்ப நிலையுடன் ஒத்துள்ளது என்றுகூடச் சொல்ல லாம். எனினும், அணுக்கருவில் இந்த உயர்ந்த வெப்பநிலை கள் அந்த ஓர் அணுக்கருவின் மிகச் சிறிய பகுதியை மட்டி லுமே பாதிக்கின்றன.

இந்த நிலையிலுள்ள அணுக்கருவினை மிக அதிகமான அளவு சூடாக்கப்பெற்ற ஒரு நீர்த்துளியாகக் கற்பனை செய்து கொண்டால், காரண காரிய முறைப்படி நாம் எதிர்பார்க்கும் இன்றியமையாத முடிவு இதுதான்: அஃதாவது, மிக அதிகமான வெப்பநிலையின் காரணமாக, அந்த அணுக்கரு ஆவியாகிவிடும். ஒரு சிறிது நேரம் கழிந்த பிறகு, ஏதாவது ஒரு துகள் அணுக்கருவினின்றும் வெளிவரும்;—பொதுவாக, ஆற்றலியலைப் பொறுத்தவரையில் அந்தத் துகள் வெளி வருதல் மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கும்; அஃதாவது, அது வெளிவருதலுக்கு மிகக் குறைந்த அளவு ஆற்றலே தேவைப் படுகின்றது. இங்குத் தேவையாகவுள்ள ஆற்றல் உண்மையான திரவத்தில் ஆவியாகும் வெப்பத்துடன் ஒத்துள்ளது. இந்த ஆற்றலை வெளிவிட்டதன் விளைவாக அந்த அணுக்கரு குளிர்வடைகின்றது. சில சமயம், இரண்டாவது துகளும் வெளிவருதல் கூடும். இல்லாவிட்டால், இன்னொரு துகள் வெளிவருவதற்குப் போதா நிலையிலுள்ள எச்ச ஆற்றல் காமாக்கதிர் வடிவில் — அஃதாவது ஃபோட்டானுக—வெளியேறுகின்றது. ஒருவிதத்தில் இச்செயல் வெண்தழல் (Incandescent) நிலையிலுள்ள ஒரு துளியை ஒத்துள்ளது; இத்துளி அதிக வெப்ப நிலையின் காரணமாகக் கட்புலனாகும் ஒளியையும் வெளிவிடுகின்றது.

முடுக்கம் பெற்ற மின் துகள்கள்:

அணுக்கருவினைத் தாக்குவதற்குப் பயன்படுத்திய துகள் மின்னூட்டமின்றி இருக்கும்பொழுது மாத்திரம்தான்,—அஃதாவது அது ஒரு நியூட்ரானாகவோ அல்லது ஃபோட்டானாகவோ இருக்கும்பொழுதுதான்,—சற்று முன்னர் விவரித்த செயல் தடையின்றித் தொடர்ந்து நிகழ்தல்கூடும். ஆனால், தாக்கும் துகள் ஒரு புரோட்டானாகவோ அல்லது ஓர் ஆல்பாத் துகளாகவோ இருந்தால், அஃது அணுக்கருவின் அருகில் மின் அழுத்த அரணை எதிர்த்துக்கொண்டு வருதல் வேண்டும்; இந்த அரணின் உயரம் தாக்குற்ற அணுக்கருவின் மின்னூட்ட

அளவிற்கு விகித சமமாகவுள்ளது. இந்த 'எறிபொருள்' (Projectile) அணுக்கருவிற்கு எதிராகப் பறந்துவரும்பொழுது அதன் வேகம் தணிதல்கூடும்; பெரும்பாலானவற்றில்—சிறப்பாக, பளுவான அணுக்கருக்களில்—அணுக்கருவிற்குச் சிறிது தொலைவில் இருக்கும்பொழுதே அஃது அமைதி நிலையை அடைந்துவிடும்; அல்லது அதன் பாதையினின்றும் ஒதுக்கப்பெற்று விடும்; இதனால் அஃது எப்பொழுதுமே அணுக்கருவினைத் தாக்குவதில்லை. ஆகவே, உண்மையில், ஒரு மிகப் பளுவான அணுக்கருவினைத் தாக்குவதற்கு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் மிக உயர்ந்த வோல்ட்டு அளவைகளால் வேகமாக முடுக்கப்பெறுதல் வேண்டும்; இதற்கெனத் திட்டமிட்டுச் செய்யப்பெற்ற ஆய்கருவியினால் இதனை உண்டாக்கி விடலாம், இக்காரணத்தினால் மின்னூட்டம்பெற்ற துகள்களினால் மிக இலேசான அணுக்களில் மட்டிலும் அணுக்கரு உருமாற்றம் முறையாகச் சாத்தியப்படுகின்றது.

அதற்கு மாறாக, மின்னூட்டம் பெற்றிராத துகள்களுக்கு 'மின் அழுத்த அரண்' என்பது ஒன்றில்லை; ஆகவே, அணுக்களை எந்தப் பொருண்மை - எண்ணுக்கு வேண்டுமானாலும் உருமாற்றுவதற்கு அவற்றைப் பயன்படுத்திக்கொள்ளக் கூடும். ஃபோட்டான்களால், அஃதாவது காமாக்கதிர்களால், பளுவான அணுக்கருக்கள் உருமாற்றங்கள் அடைவதைப் போதே[14] என்பாரும், அவருடன் சேர்ந்து ஆராய்ந்த அறிஞர்களும் அறிந்தனர்; நியூட்ரான்களால் நேரிடும் உருமாற்றத்தைப் ஃபெர்மி[15] என்பார் முதன்முதலாகச் செய்து காட்டினார். ஆயினும், பெரும்பான்மையானவற்றில் நியூட்ரான் அணுக்கருவினுள் ஒன்று சேர்ந்து விடுகின்றது; மிகுதிப்படியாகவுள்ள ஆற்றல், ஒன்று அல்லது பல காமாக்கதிர்களால் வெளிக்கொண்டு செல்லப்பெறுகின்றது.

இந்த இயக்கம் அணுக்கருவில் ஒரு மாற்றத்தைக் குறிப்பிட்டாலும், அஃது அணுவின் வேதியியற் பண்புகளில் எந்த

14. போதே - Bothe.
15. ஃபெர்மி - Fermi.

வித மாற்றத்திலும் பங்கு பெறுவதில்லே. அளவுக்கு அதிக மான நியூட்ரான்கள் தன்னுள் இருக்கும் காரணத்தால் இயக்கத்தின் காரணமாகஉண்டான அணுக்கரு நிலேயற்றதாக இருக்கும்பொழுது மட்டிலுமே அதன் வேதியியற் பண்புகள் மாறுகின்றன. இந்நிலேயில், அடுத்தபடியாகச் செயல் நடை பெறுகின்றது; இதில் ஒரு நியூட்ரான் ஓர் எலக்ட்ரானே வெளியிட்டுப் புரோட்டாளுக மாறுகின்றது; அணுக்கருவும் அணு எண் - ஒன்று அதிகமுள்ள தனிமத்தின் அணுக்கருவாக மாறிவிடுகின்றது.

ஒரு நியூட்ரான் ஓர் அணுக்கருவைத் தடையின்றி அணுகக்கூடுமாதலால், இச்செயலில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகளிஃனப் போலன்றி நேர்வேகம் முக்கிய பங்கிஃனப் பெறுவ தில்லே. இதற்கு மாருக, மெதுவாகவுள்ள நியூட்ரான்களே விரைவான நியூட்ரான்களேவிட மிகவும் பயன் விளேவிப்பவை களாக உள்ளன; காரணம், அவை அதிக நேரம் அணுக் கருவின் அருகே தங்குகின்றன. ஆகவே, அணுக்கருவால் அவை சிறையீடு செய்யப்பெறுதலின் ஏற்படுநிலே விரை வான நியூட்ரான்களின் ஏற்படுநிலேயைவிட அதிகமாக உள்ளது. நியூட்ரான்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட, ஆளுல் மிக அதிகமில்லாத, ஆற்றலுடன் இருக்கும் பொழுதுதான் இந்த ஏற்படுநிலே மிகமிக அதிகமாக இருக்கக்கூடும் என்பதைச் சோதனேகள் காட்டியுள்ளன. பெதேயின்[16] கொள்கைப்படி நியூட்ரானே நாம் அலேக்கூறில், அஃதாவது, அணுக்கரு வில் படும் ஓர் அலேயாகக் கருதும்பொழுதுதான், இது காரண காரிய முறையில் அமைகின்றது. அணுக்கரு என்பது அதிர்வு அடையக்கூடிய ஓர் அமைப்பு ஆகும்; ஆகவே அது தன்னேத் தாக்கும் எந்த அலேயுடனும் அந்தஅலேயின் அதிர்வு-எண் தன்னுடைய அடிப்படை அதிர்வு-எண்களில் ஒன்று டன் பொருந்தும்பொழுது அநு - நாதத்தில் (Resonance) ஈடுபடுகின்றது. இதில் அலேயின் மிக வன்மையான தேர்ந்

16. பெதே - Bethe.

தெடுத்த உட்கவர்ச்சி (Selective absorption) நிகழ்கின்றது; இச்செயல் ஒளி உட்கவரப்படுதல் நிகழும்பொழுது உண்டாகும் நாம் நன்கு அறிந்த ஒன்று. இப்பொழுது அலையின் அதிர்வு-எண் நியூட்ரானின் நேர் வேகத்தைக்கொண்ட ஒரு சார்பலன் (Function) ஆகும்; ஆகவே, மிகவும் திட்டமான ஒரு நேர் வேகம் அமைந்துள்ளது; இந்த நேர் வேகத்தின் பொழுது அநு- நாதத்திற்குத் தேவையான கூறுகள் நிறைவு பெறுகின்றன; அந்த அலையும் சிறப்பாக அணுக்கரு வினால் உட்கவரப்பெறுகின்றது. ஆனால், துகள்கூறில் இதனை மீண்டும் மொழி பெயர்த்துக் கூறினால், அணுக்கருவினால் நியூட்ரான் சிறையீடு செய்யப்பெறுதலின் ஏற்படு நிலை மிக அதிகமான தொன்றாக உள்ளது. இவ்வாறு நேர்வேகத்தைச் சார்ந்திருப்பது அடிக்கடி 'அணுக்கருவின் குறுக்கு வெட்டு' (Nuclear cross-section) என்ற முறையில் விவரிக்கப் பெறுகின்றது. அணுக்கருக்களைக் கோளங்களாகவும், நியூட்ரான்களைப் புள்ளிகளாகவும் சங்கற்பித்துக்கொண்டு அவற்றினிடையே எந்தவிதமான விசையும் செயற்படவில்லை என்று கருதுவோம். இதில், கோளங்களின் குறுக்கு வெட்டுக்கள் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு பெரியனவாக உள்ளனவோ, அவ்வளவுக் கவ்வளவு அணுக்கருவினை நோக்கி நேர்ந்தபடி எய்யப் பெறும் நியூட்ரான்கள் அணுக்கருவினைத் தாக்கும் ஏற்படு நிலையும் அதிகமாக இருக்கும். இந்த மாதிரி ஏற்பாட்டில், வெவ்வேறு நேர் வேகங்களைக்கொண்ட நியூட்ரான்களுக் கேற்றவாறு அணுக்கருக்களும் வெவ்வேறு பருமனுள்ள குறுக்கு வெட்டுக்களைப் பெற்றிருக்கும். குறிப்பிட்ட சௌகர்யமான சூழ்நிலையில், இந்த அணுக்கருக் குறுக்குவெட்டு, அணுக்கருவின் உண்மையான வடிவ கணித குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பைவிட 10,000 மடங்கு அதிகமாக இருக்கக்கூடும். இதனால் சிறையீடு செய்தலின் ஏற்படுநிலை மிக அதிகமாக இருக்கும் என்பது பெறப்படுகின்றது. இதனால்தான் இந் நிகழ்ச்சியைக் கண்டறிந்த ஃபெர்மி என்பார் நியூட்ரான் களின் வேகத்தை (நியூட்ரான்கள் - உண்டாக்கப்பெறும் பொழுது அவற்றின் வேகம் அதிகமாக உள்ளது) வெப்ப

நேர்வேகத்திற்குக் (Thermal velocity) குறைக்கும் பொறியமைப்பினை (Device) முதன் முதலாகக் கையாண்டார். அவர் நியூட்ரான்களை நீர் அல்லது மெழுகு (பாரஃபின) போன்ற ஹைட்ரஜனைக்கொண்ட ஒருபொருளினூடேபாயும் படி செய்தார். இதற்கு ஹைட்ரஜன் மிகச் சிறந்த பொருளாக அமைகின்றது; ஏனெனில், ஒரு புரோட்டானின் பொருண்மை கிட்டத்தட்ட ஒரு நியூட்ரானின்பொருண்மைக்குச் சமமாக உள்ளது. அன்றியும், மீள்விசைத் தாக்குதல்களின் விதிகளை யொட்டி (Laws of elastic impacts) ஆற்றலின் விரைவான பரிமாற்றத்திற்குரிய நிலைமைகள் இங்கு மிகவும் சௌகர்யமாக அமைந்துள்ளன. அத்தகைய மெதுவான நியூட்ரான்கள் ஓர் அணுக்கருவினுல் சிறையீடு செய்யப்பெறும்பொழுது, அணுக்கருவின் சூடாக்குதலை உண்டாக்குவதற்குத் தேவையான அணுக்கரு விசைகளின் கவர்ச்சி வீச்சுக்குள்ளேயே அவை முடுக்கப்பெறுகின்றன; அணுக்கரு சூடாக்கப்பெறுதல் குறித்து ஏற்கெனவே ஆராயப் பெற்றுள்ளது.

இதற்கு மறுதலையாகவும், ஒரு மின்னூட்டம்பெற்ற துகளைவிட ஒரு நியூட்ரான் அவ்வாறு சூடாக்கப்பெற்ற அணுக்கருவினின்றும் வெளியேறுதல் மிகவும் எளிதானது. உண்மையில், மின்னூட்டம்பெற்ற துகள் வெளியில் செல்வதற்கு மின் அழுத்த அரணை 'ஏறிக் கடந்து செல்லவேண்டிய நிலை' யுள்ளது; ஆனுல், நியூட்ரானுக்கு இத்தகைய அரண் ஒன்றும் இல்லை. மின் அழுத்த அரண் மிக அதிகமாகவுள்ள பளுவான அணுக்களில் ஒரு புரோட்டான் அல்லது ஓர் ஆல்பாத் துகள் வெளிவருதலுடன் ஏற்படும் அணுக்கரு உருமாற்றங்கள் அரியனவாக இருப்பதற்கு இதுவே காரணமாகும்.

ஆயின், ஓர் அணுக்கரு மிக உயர்ந்த அளவிற்குச் சூடாக்கப்பெறும்பொழுது, ஒரு திரவத் துளி ஆவியாதலைப் போலவே, மிகப் பெரிய எண்ணிக்கையில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களும் மின்னூட்டம்பெருத துகள்களும் அதன் உள்ளிருந்து வெளிவருதல் கூடும். ஆய்வகத்தின் ஆய்கருவி

யைக்கொண்டு அணுக்கருவிற்கு அத்தகைய உயர்ந்த ஆற்றல்களை அளிப்பது மிகவும் சிரமம். ஆனால், 1,000 Mev போன்ற அதிகமானதும், அதற்கு மேலும் உள்ளதுமான ஆற்றலைக் கொண்ட துகள்கள் அண்டக் கதிர்வீசலில் (Cosmic radiation) உள்ளன. அத்தகைய துகளொன்று ஓர் அணுக்கருவைத் தாக்க நேரிட்டால், அத்தாக்குதலின் விளைவாக அந்த அணுக்கரு மிக உயர்ந்த சுழி அளவுக்கு சூடாக்கப்பெற்று எண்ணற்ற புரோட்டான்களையும் நியூட்ரான்களையும் வெளிவிடுகின்றன; சிலசமயம் அது ஹீலிய அணுக்கருக்கள், லிதிய அணுக்கருக்கள் போன்ற பளுவான சில்லுகளும் வெளிவிடப் பெறுகின்றன. இவ்விதமான அணுக்கரு சிதைதல் உண்மையில் ஓர் ஒளிப்படத் தகட்டிலுள்ள குழம்பில் (Emulsion) நடைபெறும்பொழுது, அணுக்கருத் துகள்கள் சுவடுகளை உண்டாக்குகின்றன. அந்தத் தகடு துலக்கப் பெறும் பொழுது (Developed) அச்சுவடுகள் கண்ணுக்குப் புலனாகின்றன. இந்த யுக்தி முறை பிளௌவ்,[17] வேம்பேசர்,[18] ஸ்காப்பர்[19] என்ற அறிஞர்களால் வளர்க்கப்பெற்றது; அண்மையில் பவலும்[20] அவருடன் சேர்ந்து பணியாற்றிய அறிஞர்களும் அதை இன்னும் நன்றாக மேம்பாடுறச் செய்தனர். படம் – 25 A, அத்தகைய ஒளிப்படம் ஒன்றனைக் காட்டுகின்றது. அது மிகவும் பெரிதாக்கித் திரும்பத் தந்த படம்; குழம்பில் புரோட்டான்களின் வீச்சு உண்மையில் ஒரு மில்லி மீட்டரை விடக் குறைவாகவே உள்ளது. எனவே, நாம் இங்கு, ஓர் அணு சிதைந்தழிதலின் உண்மையான பதிவைக் காண்கின்றோம்; அதில் கிட்டத்தட்ட நாற்பது துகள்கள் அணுக்கருவினின்றும் 'நீராவியாக்கப்' ('Evaporated') பெற்றுள்ளன. ஏனெனில், மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களுடன், பல நியூட்ரான்களும் நிச்சயமாக வெளிவிடப்பெற்றிருத்தல்வேண்டும். படம் - 25 B அதுபோன்ற, இன்னும் மிகச் சிக்கலான, ஒரு செயலைக் காட்டுகின்றது. ஓர் அணுக்கரு சிதைந்தழிதலில்

---

17. பிளௌவ் - Blau. 18. வேம்பேசர் - Wambacher.
19. ஸ்காப்பர் - Schopper. 20. பவல் - Powell.

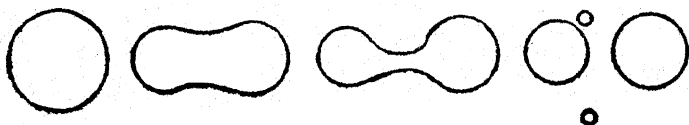
ஒரு துகள் வெளிவிடப்பெறுகின்றது; இது பின்பு இரண்டாவது துகளொன்றில் உரு மாற்ற இயக்கத்தைத் (Transmutation reaction) தூண்டுகின்றது. தனிப்பட்ட சுவடுகளிலுள்ள வெள்ளி நுண்பொடிகளின் (Silver grains) செறிவில் காணப்பெறும் வேற்றுமைக்குக் காரணம், அணுக் கருத் துகள்களின் நேர் வேகங்களினிடையேயுள்ள வேற்று மையே ஆகும். துகள்கள் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிக வேகமாக உள்ளனவோ, அவ்வளவுக்கவ்வளவு அவை மெல்லிதாகப் பரவுகின்றன; அவை விட்டுப்போகும் சுவடும் அவ்வளவுக்கவ்வளவு நீளமாகவே உள்ளது. ஆயின், அத் துகள்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் சிதறப்பெறுகின்றன. ஆகவே, பெரும்பான்மையான பாதைகள் கிட்டத்தட்ட மிகக் குட்டையாக வுள்ளனபோல் காணப்பெறுகின்றன.

'அணுக்கரு பிளவுறுதல்':

இறுதியாகவுள்ள முக்கியமான அணுக்கருக்களின் சிதைந்தழிதல் 'அணுக்கரு பிளவுறுதல்' (Nuclear fission) என்பது; அஃதாவது, அணுக்கரு இரண்டாகப் பிளவுறுவது. இச்செயல் பெர்லின் மாநகரில் 1938-இல் ஹான், ஸ்ட்ராஸ் மன் என்ற அறிஞர்களால் கண்டறியப் பெற்றது. இச்செய லில் நடைபெறுவது இதுதான்; சூடாக்கப் பெற்ற ஓர் அணுக் கரு முதலில் தனிப்பட்ட துகள்களை வெளிவிடச் செய்திருக்க லாம்; ஆனால், அது முழுவதும் அதிர்வு பெறக்கூடும்; இத் தகைய அதிர்வினைப்பெறும் கிளர்ச்சிக்காக நுழைக்கப்பெறும் எல்லா ஆற்றலை அல்லது ஆற்றலின் ஒரு பகுதியை அது பயன்படுத்திக்கொள்ளுகின்றது. ஒரு யுரேனிய அணுக்கரு ஒரு நியூட்ரானால் தாக்கப்பெறுங்கால் பெரும்பாலும் அது நிகழ்கின்றது. அதில் நடைபெறும் இயக்கம் விளக்கப்பட வடிவில், படம் - 26இல், காட்டப்பெற்றுள்ளது. கோள வடிவிலிருந்த அணுக்கரு முதலில் அதிர்வுபெற்று ஒன்று விட்டு ஒன்றாகவுள்ள நீளமானதும் தட்டையானதுமான நீள்வட்ட (Elliptical) வடிவத்தைப் பெறுகின்றது. நீளவடிவ

மாக உருவழிதல் ஓர் எல்லையை அடையும்பொழுது அணுக் கரு—இரண்டாக ஒடியும் நிலையிலுள்ள ஓர் இரும்புக் கோலைப் போல்—கிட்டத்தட்ட நடுவில் மிக மெல்லிதாகி, இறுதியில் ஏறக்குறைய இரு சமபாகங்களாக உடைபடுகின்றது. பல நியூட்ரான்கள் வெளிவிடப்பெறுதலால், சிராய்கள் (Splinlers) பறந்து செல்லுகின்றன.

பிளவுறும் நிகழ்ச்சி - விளக்கம்:

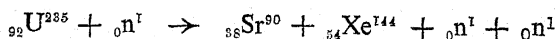
அத்தகைய பிளவுறும் நிகழ்ச்சி சாத்தியப்படக்கூடியது என்பதையும், அது மிகவும் பளுவான அணுக்கருக்களில்தான்

படம்-26: அணுக்கரு பிளவுறுதலை விளக்குவது.

நிகழ்கின்றது என்பதையும் புரிந்துகொள்வது எளிது. ஓர் அணுக்கருவின் நிலைப்புடைக்கு உத்திரவாதமாகவுள்ள அணுக்கரு விசைகள் மின்சார விலக்கு விசைகளால் எதிர்க்கப் பெறுகின்றன; இந்த எதிர்ப்பு விசை அணுக்கருவின் பொருண்மைக்கேற்றவாறு அதிகரிக்கின்றது; காரணம், முழுமையாக யோசிக்குமிடத்து, மின்னூட்டமும் பொருண் மைக் கேற்றவாறு அதிகரிக்கின்றது. ஒவ்வொரு துகளிலும் விலக்கு விசை பிணைப்பாற்றலின் குறைவினை உண்டாக்குகின் றது; எனவே, பொருண்மையின் அதிகரிப்பிற்கேற்றவாறு நிலைப் புடைமையின் குறைவினையும் உண்டாக்கிவிடுகின்றது. இந்தக் கூறுடன் அணுக்கருவின் நிலைப்புடைமை அதனுடைய அதிர்வினால் இடையூற்றுக்கு உட்படுத்தப்பெற்றால் மின்சார விலக்கு விசை தன்னுடைய விளைவினைத் தாராளமாக உணரும்படி செய்துவிட முடிகின்றது. அசைவின் ஒரு குறிப் பிட்ட வீச்சிற்குமேல், தொடங்கின அசைவினை இன்னும்

அந்த அதிர்வு அதிகரிக்குமாறு செய்து இறுதியில் அணுக் கருவினை பிளவுறவும் செய்துவிடுகின்றது.

பிளவுறுதல் பல்வேறு முறைகளில் நிகழ்தல்:

இந்த அணுக்கருவின் பிளவுறுதல் பல்வேறு முறைகளில் நிகழலாம். பொதுவாக, இரண்டு சில்லுகளும் சமப் பருமன் உள்ளனவாக இல்லை. எடுத்துக்காட்டாக, அரிதாகவுள்ள யுரேனிய ஐசோடோப்பு ($_{92}U^{235}$) ஒரு நியூட்ரானை விழுங்கு கின்றபொழுது அஃது ஒரு ஸ்ட்ரான்ஷிய அணுவாகவும், ($_{38}Sr^{90}$) ஒரு ஜெனன் ($_{54}Xe^{144}$) அணுவாகவும், இரண்டு நியூட் ரான்களாகவும் பிளவுறலாம். இந்த நிகழ்ச்சியினை,

$$_{92}U^{235} + {_0n^1} \rightarrow {_{38}Sr^{90}} + {_{54}Xe^{144}} + {_0n^1} + {_0n^1}$$

என்ற வாய்பாடு விளக்குகின்றது.

இதிலும் இயல்பாகவே பொருண்மை-எண்களின் மொத் தத் தொகைகள் அம்புக்குறிக்கு இருபுறங்களிலும் சமமாக இருத்தல் வேண்டும்; அங்ஙனமே, மின்னூட்ட எண்களும் ஒன்றற்கொன்று சமமாகிவிட வேண்டும்.

எனினும், இவ்வாறு குறிப்பிட்ட விளைவுகளை உண்டாக்கு வதற்குப் பதிலாக, இந்த யுரேனிய அணுவின் அணுக்கருப் பிளவு, எடுத்துக்காட்டாக பின்னவற்றிலிருந்து ஸ்ட்ரான்ஷிய அணுவையும் ($_{38}Sr^{90}$) ஜெனன் அணுவையும் ($_{54}Xe^{144}$) இரண்டு நியூட்ரான்களுடன் உண்டாக்கலாம்; அல்லது வெவ்வேறு இரண்டு தனிமங்களின் அணுக்களையும், வெவ்வேறு எண்ணிக் கையில் நியூட்ரான்களையும் உண்டாக்கவும் செய்யலாம். உண்மையில், இத்தகைய பிளவுறுதல்களில் மிக அதிகமான எண்ணிக்கையுள்ள வெவ்வேறு தனிமங்கள் உண்டாதல் காணப்பெற்றுள்ளது. யுரேனிய அணுக்கரு உடையும் (பிளவுறுதல் நிகழும்) நுட்பமான முறை ஓரளவு தற்செய லாகத்தான் உண்டாகின்றது.

அணுக்கரு மாற்றம்பற்றிய பொதுப்படை அறிவு:

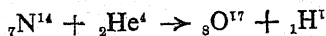
இவ்வாறு நாம் பொதுவாகப் பருந்து நோக்கில் (Bird's eye view) அணுக்கரு உருமாற்றங்களின் வெவ்வேறு சாத்திய மானவைகளைப்பற்றி அறிந்து கொண்டுள்ளோம். எல்லா அணுக்கருக்களையும் உருமாற்றம் அடையச் செய்வதற்கு நியூட்ரான்கள் பயன்படுத்தப்பெறக்கூடும்; இலேசான அணுக்கரு இனங்களில் உருமாற்றத்தை விளைவிப்பதற்கு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் மிகவும் பொருத்தமானவை. மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களில் முதல் நிலையில் ஆராய்ச்சிக்கு எடுத்துக்கொள்ளப்பெறுபவை புரோட்டான்களும், ட்யூடெரான்களும், ஆல்பாத் துகள்களும் ஆகும்; முன்னவை இரண்டும் மின்புலங்களில் தேவையான அளவுக்கு வேகம் வளர்க்கக் கூடியவைகளாக உள்ளன; மூன்றாவதாகக் குறிப்பிட்டவை மின்புலங்களில் ஹீலிய அணுக்கருக்களைத் தீவிரமாக வேகம் வளரச் செய்து இயற்கையாகவும் செயற்கையாகவும் உண்டாக்கப்பெறுகின்றன. இறுதியாக, பல்வேறு அணுக்கருக்கள் மிக உயர்ந்த சுழி அளவுக்குத் தேவையான அளவு ஆற்றல் மிக்க காமாக் கதிர் ஃபோட்டானால் சூடாக்கப் பெற்று ஒரு நியூட்ரானை வெளிவிடச் செய்யப்பெறுகின்றன: இந்த நியூட்ரான் வெளி வருதலால், அவற்றின் பொருண்மை மட்டிலும் மாறுகின்றதே யன்றி, அந்தக் குறிப்பிட்ட அணுவின் வேதியியற் பண்புகள் மாறுவதில்லை.

முடிவாக, அணுக்கரு பௌதிக முன்னேற்றத்தால் சிறப்பாக முக்கிய பங்கினைக் கொண்ட ஒரு சில எடுத்துக்காட்டுக்களை ஆராய்வோம். இவற்றை நாம் கால வரையறை ஒழுங்கில் (Chronological order) எடுத்துக் கொள்வோம்.

நைட்ரஜன் ஆக்ஸிஜனாக மாறுதல்:

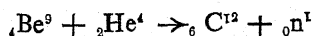
1919-இல் ரதர்ஃபோர்டு என்பார் ஆல்பாத் துகள்களைக் கொண்டு நைட்ரஜன் அணுக்களைத் தாக்கி அவற்றை ஆக்ஸிஜன் அணுக்களாக மாற்றி முதன் முதலாக செயற்கை முறை அணுக்கரு உருமாற்றத்தை முற்றுப்பெறச் செய்தார். ஒரு

புரோட்டான் (இது ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு; $_1H^1$ என்று எழுதப்பெறுவது) இந்தச் செயலில் வெளிவிடப்பெற்றது. இச்செயல் அடியிற் காணும் வாய்பாட்டால் குறிப்பிடப் பெறுகின்றது:

$$_7N^{14} + {_2He^4} \rightarrow {_8O^{17}} + {_1H^1}$$

இவ்வாறு உண்டான ஆக்ஸிஜன் அணு 17 பொருண்மை-எண்ணைக் கொண்ட அரிதான ஆக்ஸிஜன் ஐசோடோப்பு ஆகும். படம்-10, முகில் அறையில் அத்தகைய செயலினைக் காட்டுகின்றது.

பெரிலியம் கார்பனாக மாறுதல்:

இன்னொரு முக்கியமான உருமாற்ற இயக்கம் ஜோலியட்-குயூரி,[21] சாட்விக்[22] என்ற அறிஞர்களால் 1932-இல் நியூட்ரானின் கண்டுபிடிப்பிற்குக் கொண்டுசெலுத்தியது. அவர்கள் பெரிலிய அணுக்கருவினை ($_4Be^9$) ஓர் ஆல்பாத் துகளினைக் கொண்டு தாக்கினர்; பெரிலிய அணு ஒரு நியூட்ரானை வெளிவிட்டு கார்பன் அணுக்கருவாக ($_6C^{12}$) மாறியது; இதில் ஒரு நியூட்ரானும் வெளிப்பட்டது. இந்த நிகழ்ச்சியினை,

$$_4Be^9 + {_2He^4} \rightarrow {_6C^{12}} + {_0n^1}$$

என்ற வாய்பாடு உணர்த்துகின்றது.

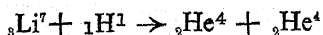
லிதியம் ஹீலியமாக மாறுதல்:

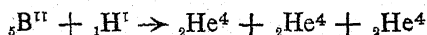
இந்த முக்கியமான இயக்கங்களில் மூன்றாவதாக செயற்கை முறையில் வேகம் வளர்க்கப்பெற்ற துகள்களைப் பயன்படுத்தி காக்ராப்ட்,[23] வால்ட்டன்[24] என்ற அறிஞர்களால்

---

21. ஜோலியட்-குயூரி-Joliot Curie.
22. சாட்விக்-Chadvick.
23. காக்ராப்ட்-Cockroft.
24. வால்ட்டன்-Walton.

முற்றுவிக்கப்பெற்ற முதல் உருமாற்றத்தைக் குறிப்பிடலாம். இவர்கள் 1932-லேயே புரோட்டான்களைப் பயன்படுத்தி இந்த இயக்கத்தை உண்டாக்கினர். 600,000 வோல்ட்டு உயர் அழுத்த ஆய்கருவியொன்றினைக்கொண்டு புரோட்டான்கள் வேகம் வளர்க்கப்பெற்றன. அத்தகைய புரோட்டான் ஒரு லிதிய அணுக்கருவினைத் ($_3Li^7$) தாக்கும் பொழுது அடியிற் குறிப்பிடப்பெறும் இயக்கம் நிகழ்கின்றது:

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$$

அஃதாவது, இரண்டு ஆல்பாத்துகள்கள், அல்லது ஹீலிய அணுக்கருக்கள் உண்டாகின்றன. படம்-27 (கிர்ச்னெர்[25] எடுத்த ஒளிப் படத்தின்படி) முகில் அறையில் நடைபெறும் இந்தச் செயலினைக் காட்டுகின்றது. புரோட்டான்கள் வேகம் வளர்க்கப்பெறும் மின் இறக்கக் குழலின் (Discharge tube) நுனி கண்ணுக்கும் புலனாகின்றது. அங்கிருந்து அத்துகள்கள் லிதிய உலோகத் துண்டினைத் தாக்குகின்றன. அங்கிருந்து புறப்பட்டு எதிர்த் திசைகளில் செல்லும் இரண்டு ஆல்பாத் துகள்களின் சுவடுகளை நாம் காணலாம். (கண்ணுக்குப் புலனாகும் மற்றொரு சுவடு இந்த இயக்கத்தைச் சேர்ந்தது அன்று). இதே மாதிரியான ஓர் இயக்கம் படம்-28 இல் காட்டப் பெற்றுள்ளது. இங்கு வேகமாக வரும் ஒரு புரோட்டானை ஒரு போரன் அணுக்கரு விழுங்கி மூன்று ஹீலிய அணுக்கருக்களாக மாறுகின்றது. அஃதாவது:

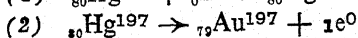
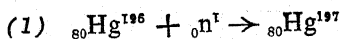
$$_5B^{11} + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + {}_2He^4$$

(இங்கும் ஓர் ஆல்பாத் துகள் கண்ணுக்குப் புலனாகின்றது: அஃது இந்த இயக்கத்தைச் சேர்ந்தது அன்று)

---

25. கிர்ச்னெர்-Kirchner.

பண்டையோர் கண்ட இரசவாதம்—ஓரளவு சாத்தியம்:

இறுதியாக, இந்தப் பிரச்சினைகளின் பண்டைய வரலாற்றினையொட்டி, பண்டைய இரசவாதிகளின் கனவாக இருந்து வந்த பாதரசத்தைப் பொன்னாக்கும் விந்தையை நாம் செய்ய முடியுமா, எந்த அளவு இது சாத்தியப்படக்கூடியது என்று வினவலாம். இந்த வினாவிற்கு விடையிறுக்க வேண்டுமாயின் அட்டவணை-4ஐப் பார்த்தால் போதுமானது. பாதரசமும் பொன்னும் மிக அருகிலுள்ள அயலவர்கள் என்பதை அது காட்டுகின்றது; ஒன்றனைப் பிறிதொன்றாகஉருமாற்றுவதற்கு ஓரே ஒரு படிதான் வேண்டப்படுவது. அஃதாவது, மிகவும் தற்செயலாக, கடந்த நூற்றாண்டுகளின் இரசவாதிகள் பாதரசத்தைப் பொன்னாக்க முயன்றதில் சரியான பாதையில் செல்ல நேரிட்டது. நம்முடைய இன்றைய அறிவின்படி, பாதரசம் 196இலிருந்து 204 வரையுள்ள பொருண்மை-எண்களையுடைய 7 நிலைத்த ஐசோடோப்புக்களைக் கொண்டுள்ளது; ஆனால், பொன் பொருண்மை-எண் 197ஐக் கொண்டு ஓரே ஒரு ஐசோடோப்பினையே பெற்றுள்ளது; நமக்குத் தெரிந்த பாதரச ஐசோடோப்புக்களில் இந்தப் பொருண்மை-எண் காணப்பெறவில்லை. பொருண்மை-எண் 196ஐக் கொண்ட பாதரச ஐசோடோப்பு நியூட்ரான்களால் கதிர்வீசலுக்கு உட்படுத்தப்பெற்றால், ஒரு நியூட்ரான் ஒரு பாதரச அணுக்கருவில் சேர்ந்து, நமக்குத் தெரியாதுள்ள பொருண்மை-எண் 197ஐக் கொண்ட அணுக்கருவினை விளைவித்தல் கூடும். இந்த அணுக்கரு நிலையற்றதாக இருக்க வேண்டும்; இல்லாவிட்டால், ஏற்கெனவே அஃது காணப் பெற்றிருக்கும். ஆகவே, அது பாசிட்ரானை வெளிவிட்டு (அல்லது K-கதிர்வீசலினால்), அதே பொருண்மை-எண்ணைக் கொண்ட நிலையான பொன்அணுக்கருவாக மாறும். எனவே, அடியிற்காணும் இரண்டு இயக்கங்கள் இதே வரிசைப்படி நிகழும்:

$$(1) \quad {}_{80}Hg^{196} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{80}Hg^{197}$$
$$(2) \quad {}_{80}Hg^{197} \rightarrow {}_{79}Au^{197} + {}_{1}e^{0}$$

பாதரச அணுக்கரு ($_{80}Hg^{197}$) பொன் அணுக்கருவாக ($_{79}Au^{197}$) மாறியுள்ளது.

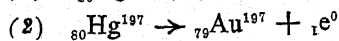
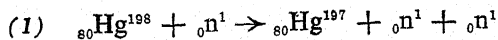
எனவே, அடிப்படையில், அணுக்கரு பௌதிக அறிஞருக்குப் பாதரசத்திலிருந்து பொன்னினை உண்டாக்குவதில் எவ்வித சிரமமும் இருந்திராது. எனினும், இந்த உருமாற்றம் இதுகாறும் நடைமுறையில் பதிவு செய்யப்பெறவில்லை.

இந்த உருமாற்றத்தை மேற்கொள்ளாததன் காரணம்:

இந்த உருமாற்றம் இன்னும் ஏன் மேற்கொள்ளப்பெறவில்லை என்று நாம் இறும்பூது அடையலாம் ஆனல், இதனல் அடையும் இலாபம் மிகச்சிறிதாக இருப்பதே இதற்குக் காரணம் ஆகும். அவப்பேற்றின் காரணமாக, பாதரச ஐசோடோப்பு ($_{90}Hg^{196}$) மிகவும் அரிதாகக் கிடைக்கும் பொருளாகும்; இயற்கையில் கிடைக்கும் பாதரச ஐசோடோப்புக்களின் கலவையில் அது 0.1 சதவீதத்திற்கு மேல் இல்லை. பாதரசம் நியூட்ரான்களின் தாக்குதலுக்கு உட்படுத்தப்பெற்ருல், ஆயிரம் நியூட்ரான்களில் ஒரே ஒரு நியூட்ரான்தான் பாதரசஅணுக்கருக்கள் ஒன்றனுள் சேர நேரிடும். மிகவும் அரிதாகவுள்ள பாதரச ஐசோடோப்பிலிருந்து நாம் பொன்னை உண்டாக்க முடியாது: ஆனல், வேறு ஒரு பாதரச ஐசோடோப்பினையோ தாலியத்தையோ உண்டாக்கலாம். ஆயினும், விரைவான நியூட்ரான்களைக்கொண்டு தாக்குதலை விளைவித்து நம்முடைய குறிக்கோளை எளிதில் அடையலாம் என்பது நாம் எண்ணிப் பார்க்கக் கூடியாகவுள்ளது. $_{80}He^{198}$ என்ற பாதரசத் ஐசோடோப்பு $_{80}Hg^{196}$ என்ற ஐசோடோப்பினைவிட 100 மடங்கு அதிகமாகக் கிடைக்கின்றது. பொருண்மை-எண் 198ஐக் கொண்ட இந்தப் பாதரச அணுக்கருவை நியூட்ரான்களின் தாக்குதலால் சேர்ந்தாற்போல் இரண்டு நியூட்ரான்களை வெளிவிடும் வரை மிக உயர்ந்த சுழி அளவுக்குச் சூடாக்குவதில் நாம் வெற்றியடைந்தால், நமக்குப் பொன் அணுக்கரு ($_{79}Au^{197}$) கிடைத்து

விடும். இச்செயல்களை அடியிற் கண்ட வாய்பாடுகளால் எழுதிக் காட்டலாம்:

$$(1)\quad {}_{80}Hg^{198} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{80}Hg^{197} + {}_{0}n^{1} + {}_{0}n^{1}$$

$$(2)\quad {}_{80}Hg^{197} \rightarrow {}_{79}Au^{197} + {}_{1}e^{0}$$

ஆனால், தவறான நம்பிக்கைகளை மூளையிலே கிள்ளி யெறியும் முறையில், வழக்கமாகப் பொன்னை அடையும் முறைகளைவிட, இந்த முறை பல மில்லியன் மடங்கு அதிகச் செலவில் மேற்கொள்ளக் கூடியது என்று கூறி அமைந்து விடலாம்.

7. அணுக்கரு பௌதிக ஆய்கருவிகள்

(I) உற்றறிந்து கண்டறியும் முறைகள்

நுட்பமான ஆய்கருவிகளின் இன்றியமையாமை:

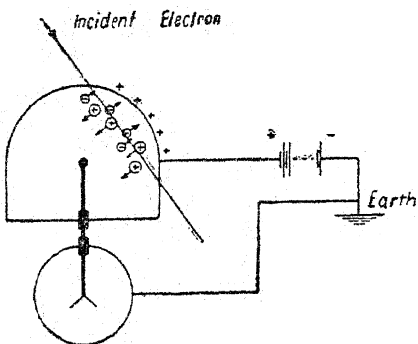
'இதற்கு முன்னர் நடைபெற்ற ஆராய்ச்சிச் சொற்பொழிவுகளில் குறிப்பிட்ட நிகழ்ச்சிகளை உண்டாக்கவும் அவற்றை அணுகி நோக்கவும் அணுக்கரு பௌதிக அறிஞருக்குக் கிட்டியுள்ள ஒரு சில கருவிகளைப்பற்றியும் அவர் அறிந்துள்ள முறைகளைப்பற்றியும் இந்த நூலின் அடியிற்கண்ட பிரிவுகள் விளக்குகின்றன. இந்த வினைமுறைகளுக்கு ஏராளமான அளவுகளில் ஆற்றல் தேவைப்படுகின்றது; இந்த ஆற்றலை நல்குவதற்குத் தொழில்துறை அறிவியல் கண்டறிந்துள்ள மிக ஆற்றல் வாய்ந்த கருவிகளைப் பயன்படுத்தவேண்டும். எனினும், இந்த அளவற்ற ஆற்றல் தேக்கங்களைக்கொண்டு அடைந்த முடிவுகள் மிகச் சிறியனவாவே உள்ளன. ஆகவே, இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளுக்கு மிகவும் நுட்பமான கருவிகள் இருக்கவேண்டியது மிகவும் இன்றியமையாதது; காரணம், ஆராயப்பெற வேண்டிய நிகழ்ச்சிகள் ஒரு தனிப்பட்ட அணுவில், அல்லது மிகச் சில அணுக்களில், நடைபெறுகின்றன; அஃதாவது, சாதாரண கருத்துப்படி, அவை மனத்தாலும் எண்ணிப் பார்க்கமுடியாத மிகச் சிறிய அமைப்புக்களில் நடைபெறுகின்றன.

துருவியறியும் கருவிகளிலும் வேறு ஆய்கருவிகளிலும் இருந்து நாம் நமது ஆராய்ச்சியைத் தொடங்குவோம். மிகப்

பழைய முறை மின்பொலி முறை (Scintillation mathod) யாகும். மிக விரைவாகச் செல்லும் ஒரு துகள்—எடுத்துக் காட்டாக ஆல்பாத் துகள்—ஒரு துத்தநாக சல்ஃபைடு திரையில் தாக்கினுல், ஓர் இயக்கம் நிகழ்கின்றது; இஃது ஒரு வலிவற்ற மின்வீச்சினை—மின் பொலிவினை—உண்டாக்குகின்றது. ஆகவே, பூச்சுப் பூசி வெள்ளை வைத்த சுவர்களில் துப்பாக்கி ரவைகளின் தாக்குதலை உற்றுநோக்கியறிதல்போலவே, அணுவினும் சிறிய அளவுள்ள தனிபட்ட துகள்களை உற்று நோக்குதல் சாத்தியப்படக்கூடியது; இந்த முறையில் அத் துகள்களைக் கணக்கிடவும் (Counting) செய்யலாம். எனினும், துணையின்றி இருக்கும் ஊனக் கண்ணினை நாம் நம்பியிருத்தல் சிறந்த கொள்கையன்று; கணக்கிடும்பொழுதே கண் சிறிது சிறிதாகச் சோர்வடைதல்கூடும். இந்நாட்களில் இந்த முறை மிக அரிதாகவே கையாளப்பெறுகின்றது. அண்மைக்காலத்திலிருந்து வலிவற்ற மின் வீச்சுக்கள் கண்ணினுல் பதிவு செய்யப் பெறுவதில்லை; அவை மின்பெருக்கியினுல் பதிவு செய்யப் பெறுகின்றன.

அயனி உண்டாகும் அறை:

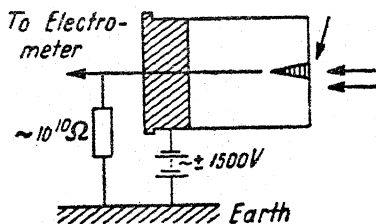
அயனி உண்டாகும் அறை (Ionization chamber) தரும் அடிப்படை விதியினைப் பயன்படுத்தியே நவீன உற்றறி முறைகள் யாவும் அமைந்துள்ளன. இந்தத் துணைக்கருவியை மிக எளியமுறையில் விவரிக்க முயலுவோம்: ஒரு பொன்-இதழ் நிலைமின்காட்டி (Gold leaf clectroscope) பூமியில் இணைந்துள்ள ஓர் உலோகப் பெட்டியைக் கொண்டுள்ளது. அந்தப் பெட்டியில் இரண்டு பொன் - இதழ்களைக்கொண்ட காப்பிடப்பெற்ற ஓர் உலோகக் கோல் உள்ளது. மின்விட்டம் கோலினை அடையுங்கால் அவ்விதழ்கள் விரிந்து நிற்கும் (படம்—29). தலைகீழாகவுள்ள (Inverted) உலோக மூடியொன்று நிலை மின்காட்டியின்மீது வைக்கப்பெற்றுள்ளது; அது மின்கல அடுக்கொன்றினுல் (Battery) 100 வோல்ட்டு அளவுக்கு மின்னூட்டம் பெறச் செய்யப்பெற்றுள்ளது; அது

நிலை மின்காட்டியினின்றும் காப்பிடப் (Insulated) பெற்றுள்ளது மின்னூட்டமடைந்த துகளொன்று—ஆல்பாத் துகள் பீட்டாரத்துகள் அல்லதுகாமாகதிர்ஃபோட்டான்—நிலைமின் காட்டிக்கும் மூடிக்கும் இடையேயுள்ள இடத்தில் நுழையும் பொழுது, அது காற்று மூலக்கூறுகளினின்றும் எலக்ட்ரான்களைக் கிழித்தெறிந்து விடுகின்றது. இந்த எலக்ரான்கள் வேறு மூலக்கூறுகளுடன் சேர்ந்து எதிர்மின்னூட்ட அயனிகளாகின்றன; எலக்ட்ரான்களை இழந்த மூலக்கூறுகள் நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற அயனிகளாகப் பின்தங்குகின்றன. படம் 29—இல் காட்டப்பெற்றுள்ளவாறு, அத்தகைய அயனிகள் துகளின் பாதையிலெல்லாம் உண்டாக்கப்பெறுகின்றன.

படம்-29: அயனியாதல் அறையின் தத்துவத்தை விளக்குவது.

மூடி நேர்மின்னூட்டம் பெற்றால், நேர்மின்னூட்டம் பெற்ற அயனிகள் நிலைமின்காட்டியின் கோலுக்கும் எதிர்மின்னூட்டம்பெற்ற அயனிகள் மூடிக்குமாகப் பீறிட்டுப் பாய்கின்றன. இவ்வாறு நிலைமின்காட்டி மின்னூட்டம் பெற்று அதன் இதழ்கள் பிரிந்து நிற்கின்றன. ஆயினும், வளர்ச்சியடையாத நிலையிலுள்ள இந்தக் கருவி தனிப்பட்ட துகள்களை உற்றறிந்து காண்பதற்கேற்றவாறு நுட்பமாக அமையவில்லை. கயிறு மின்மானி (String electrometer) போன்ற இன்னும் மிக

நுட்பமான கருவி வலிவற்ற கதிர்வீசலைப் பதிவு செய்யக் கூடியதாயினும், தனிப்பட்ட துகள்களைப் பதிவு செய்ய இயலாது. ஒரு குறிப்பிட்ட அணுக்கரு-பௌதிகச் செயலுக்கேற்றவாறு குறைந்த மின்னூட்டங்களை உற்றறிந்து காணும் முறை பல்வேறு வழிகளிலும் வகைகளிலும் சீர்பெறச் செய்யப் பெற்றுள்ளது.

கைகர் காட்டு எண் கருவி:

தனிப்பட்ட துகள்களைத் உற்றறிந்து காண்பதில் பொதுவாக முதன் முதலாகக் கண்டறியப்பெற்ற கருவி **கைகரின் காட்டு எண்-கருவி** யாகும் (படம்-30).

படம்-30: முள்ளுடன் கூடிய எண்-கருவியினைக் காட்டுவது (கைகர் கண்டவாறு)

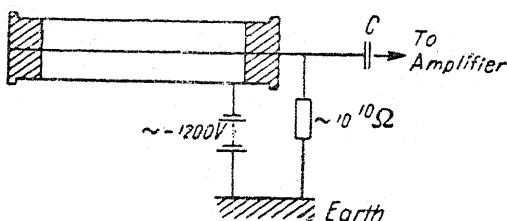
அடிப்படையில் அக்கருவி மிகவும் நன்முகச் சீர்பெற்ற அயனி உண்டாகும் அறையேயாகும். இந்தக் கருவியில் ஓர் உலோகக் கோல் மிகக் கூரிய நிலையிலுள்ளது; அறை சாதாரணமாக ஓர் உயர்ந்த மின் அழுத்தம் பெறுகின்றது; இதனல் அந்தக் கோலின் கூர்மையான நுனியருகில் ஒரு மின் புலம் (Electric field) உண்டாக்கப்பெறுகின்றது. ஒரு மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் அல்லது காமாக்கதிர் ஃபோட்டான் பறந்து சென்று அங்கு எலக்ட்ரான்களை விடுவிக்கும் பொழுது விடுவிக்கப்பெற்ற எலக்ட்ரான்கள் தீவிரமான புலத்தினல் மிக வன்மையாக முடுக்கப்பெறுகின்றன; இதனல் அவை

மீண்டும் காற்று மூலக்கூறுகளினின்றும் எலக்ட்ரான்களைக் கிழித்தெறிகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் மேலும் இதே செயலைப் புரிகின்றன; இவ்வாறு விடுவிக்கப்பெறும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஒரு மலையிலிருந்து விழும் சறுக்குப் பனிப்பாறைபோல் அதிகரிக்கின்றது; புலம் வலிவற்ற நிலையிலுள்ள பொழுதுதான் எண்ணிக்கை அதிகரிப்பது நிற்கின்றது ஆனால், இந்தச் செயல் நேரிடும்பொழுது, ஓர் ஒற்றைத் துகள் அல்லது ஃபோட்டானின் விளைவாக ஏராளமான எண்ணிக்கை அளவில் துகள் உண்டாக்கப்பெறுகின்றன; அவை நாம் அறிந்த முறையிலேயே உற்றறிந்து காணப்பெறுகின்றன.

மின் அழுத்தம் மிக அதிகமாக இல்லாதபொழுது, சில கட்டுப்பாடுகளின்கீழ்எலக்ட்ரான்கள் எண்ணிக்கையில் பெருக்கமடைதல் அதே காரணக் கூறினால் அதிகரிக்கின்றது. ஆகவே நாம் எண்-கருவியின் விகிதப்பொருத்த மண்டலம்(Proportional region) என்றும்எண்-கருவியின் விகிதப்பொருத்த எண்ணிக்கை (Proportional count) என்றும் பேசுகின்றோம். சற்று முன்னர் குறிப்பிட்ட காரணக்கூறு 1000 அல்லது அதற்கு மேலும் உள்ள அளவாக இருக்கலாம். ஆனால், எண்-கருவியின் மின் அழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட எல்லைக்கு மேல் அதிகப்படும்பொழுது; நம் விகிதப் பொருத்த மண்டலத்திற்கு அப்பால் சென்று விடுகின்றோம். அந்நிலையில், அத்துகளினால் விடுவிக்கப்பெறும் எலக்ட்ரான்கள் ஓர் ஒளிர்தலுடன்கூடிய மின் இறக்கத்தைத் (Discharge) தொடங்குகின்றது; அதன் விளைவாக அது பத்து மில்லியன் மடங்கு அல்லது நூறு மில்லியன் மடங்கு அதிகரிக்கின்றது. அந்நிலையில் மின் இறக்கம் அடைதல் நிறுத்தப்பெறச் செய்து மீண்டும் அந்த எண்-கருவி ஒரு புதிய துகளிற்குத் தயாராக இருக்க வேண்டும். இந்தப் பிரிநிலை மண்டலத்தில் (Resolving region) பெருக்கமடைதல் முதல் நிலையில் விடுவிக்கப்பெற்ற எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையுடன் தொடர்பு கொள்ளாமல் உள்ளது. ஓர் ஒளிர்வடைதலுடன் கூடிய

மின் இறக்கம் ஏற்படும் கணம் வரையில், பெருக்கமடைதலும் தொடர்ந்து நடைபெறுகின்றது.

செம்மையுற்ற கைகர் எண்-கருவி:

சற்றேறக்குறைய பதினைந்து ஆண்டுகளுக்கு முன்னர் முள்ளுடன் கூடிய இந்த எண்-கருவி கைகர்[1], முல்லர்[2] என்ற இரு அறிஞர்களால் மேம்பாடடையச்செய்யப்பெற்றது;

படம் – 31: கைகர், முல்லர் எண்-கருவியினை விளக்குவது.

அஃது இன்று எண்-கருவியாக மாற்றம் அடைந்து பௌதிக அறிஞரின் மிக முக்கியமான ஆராயும் கருவியாக அமைந்துள்ளது. அறிவியல் விதியின் அடிப்படையில் அது தொடக்கத்திலிருந்த முள்ளுடன் கூடிய எண்-கருவியைப் போன்றதே. ஆனால், ஒரே ஒரு வேற்றுமையுண்டு; குறி முள்ளுக்குப் பதிலாக ஒரு மெல்லிய கம்பி அதன் நடுவில் வைக்கப்பெற்றிருப்பதே அது (படம்-31). பெரும்பாலும் அது காற்றினால் நிரப்பப்பெறாமல், 60 மில்லி மீட்டரிலிருந்து 80 மில்லி மீட்டர் வரை பாதரச அழுக்கமுள்ள ஆர்கானும், கிட்டத்தட்ட 10 மில்லிமீட்டர் பாதரச அழுக்கமுள்ள ஆல்கஹால் ஆவியும் கலந்ததொரு கலவையினால் நிரப்பப் பெறுகின்றது. ஆனால், வேறு பலவித மாற்றுருவமுள்ள கருவிகளும் உள்ளன. கம்பி மிகப் பெரிய தடை வழியாகப் பூமியில் பதிக்கப்

---

1. கைகர்-Geiger 2. முல்லர்-Mulier

பெற்றுள்ளது; வெளி மூடி பூமியைவிட 1000—1200 வோல்ட்டு மின்-அழுத்த வேற்றுமையில் உள்ளது.

முள்ளுடன்கூடிய எண்-கருவியிலுள்ள நிலைமையைப் போலவே இங்குள்ள நிலைமையும் உள்ளது. குறைந்த மின் அழுத்தத்தில் விகிதச் சமப் பெருக்கம் 1000 மடங்கு ஏற்படுகின்றது. மின் அழுத்தம் அதிகமாக இருக்கும்பொழுது, ஒளிரும் தன்மையுள்ள மின் இறக்கம் நிகழ்கின்றது; இப்பொழுது பிரிவு மண்டலத்தில் இந்தப் பொறியமைப்பு செயற்பட்டுக் கொண்டுள்ளது. ஒளிருந் தன்மையுள்ள மின் இறக்கம் அமைந்த கணத்திலிருந்து மின் தங்கியுடன் (Condenser) பொருத்தப்பெற்றிருக்கும் கம்பி மின்தங்கியைப் போலவே, உறைப்பான மின்னூட்டத்தைப் பெறுகின்றது; மிக உயர்ந்த தடையின் காரணமாக மின்னூட்டம் பூமியினுள் பாய்வதற்கு முன்னர் ஒரு கணிசமான கால அளவு கடந்து செல்ல வேண்டும். ஆகவே, இந்தக் காலத்தின்பொழுது கம்பியும் கம்பியுடன் பொருத்தப்பெற்றிருக்கும் மின் தங்கியும் (C) ஒரு குறிப்பிட்ட மின் அழுத்தத்திலுள்ளன; சாதாரணமாக ஒலிபரப்பும் துறை-நுணுக்கத்தில் (Technique) கையாளப்பெறும் முறைகளைக் கையாண்டு இந்த மின் அழுத்தம் பெருக்கப்பெறுகின்றது. பெரும்பான்மையான அளவீடுகளில் வழக்கமாகச் செய்யப்பெறுவதைப் போலவே, தொலைபேசிவிலுள்ள (Telephone) கணக்கிடும் பொறியமைப்பைப் போன்ற பொறியமைப்பு ஒன்று இத்துடன் சேர்க்கப்பெறுதல் கூடும்; அல்லது மின் அழுத்தம் ஓர் ஒலிபெருக்கிக்குச் செலுத்தப்பெறுதலும் கூடும்; இவ்வாறு நாம் கணக்கிடும் குழல் வழியாகச் செல்லும் ஒவ்வொரு துகளினையும் எண்ணிப் பதிவு செய்து கொள்ளலாம்.

பீட்டாக் கதிர்வீசலாலும் காமாக் கதிர்வீசலாலும் உண்டாகும் அயனிகளின் எண்ணிக்கை மிகக் குறைவாகவுள்ளது. ஆகவே, பெரியதொரு பெருக்கம் தேவைப்படுகின்றது; அப்பெருக்கம் பிரிநிலை மண்டலத்தில் இயற்றப் பெறுவது

வழக்கம். மேலும், பீட்டாத் துகள்கள் மிகவும் ஊடுரு விச் செல்லக் கூடாத நிலையிலிருப்பதால், பீட்டாத் துகள்களைக் கணக்கிடுவதற்கு மெல்லிய சுவர்களைக் கொண்ட குழல்கள் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன. அதற்கு மாருக, காமாக்கதிர் ஃபோட்டான்களைக் கணக்கிடும் பொழுது கூடியவரை பிறவகைத் துகள்கள் சேராதிருக்கும் பொருட்டுத் தடித்த சுவர்களைக் கொண்ட குழல்களே பயன் படுத்தப்பெறுகின்றன. அதிகமான எலக்ட்ரான்களை இயற் றும் ஆல்பாக் கதிர்களைக் கணக்கிடுவதற்கு மேற்கொள்ளும் பொழுது பெரியதொரு பெருக்கம் ஏற்படுவதைத் தவிர்த்து விடலாம்; அதை விகித சம மண்டலத்தில் இயற்றுவது சாத் தியப்படக் கூடியது. இந்த முறையில் ஒரு நன்மையும் உண்டு; கணக்கிடும் பொறியமைப்பு சரியான முறையில் பொருத்தப்பெற்று விட்டால், அது பிறவகைக் கதிர்வீச லுடன் இயக்கம் புரிவதில்லை. பிறவகைக் கதிர் வீசல்கள் வலுவற்ற மின் அழுத்தத் துடிப்புக்களையே (Potential impulses) உண்டாக்குகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீளத் திற்கு மேற்பட்டுள்ள துடிப்புக்களைவிட மட்டிலும் கடத்தும் தைராட்ரான் எனப்படும் ஒரு பிரத்தியேகமான பெருக்கி, வலுவற்ற துடிப்புக்களைத் தவிர்த்து விடுகின்றது. இதனுல் ஆல்பாக் கதிர்வீசலினுல் மட்டிலும் இயற்றப்பெறும் துடிப் புக்கள் மட்டிலும் கணக்கிடப்பெறுகின்றன. இது மிகவும் முக்கியமானது; ஏனெனில், ஆராய்ச்சிக்கு மேற்கொள்ளப் பெற்றுள்ள கதிர் வீசலைத் தவிர, ஊடுருவிச் செல்லக்கூடிய பிறவகைக் கதிர்வீசல்கள் யாவும் இடப்பரப்பில் அலைந்து கொண்டுதா னிருக்கும். முதலாவதாக, அண்டக் கதிர்வீச லின் காரணமாக எம்மருங்கும்—எண்-கருவியிலும்கூட— எலக்ட்ரான்கள் இயற்றப்பெறுகின்றன. நாம் அறிந்த எந்த முறையிலும் இந்த அண்டக் கதிர்வீசலைத் தடுக்க முடி யாது. இரண்டாவதாக, எந்தப் பொருளும் கதிரியக்க மாசு களின்றி இருத்தல் முடியாது. எண்-கருவி செய்யப்பெற் றுள்ள பொருளும் சில சமயம் துடிப்புக்களை வெளிவிடத் தான் செய்கின்றது. இந்தக் குறைந்த விளைவுகள் தவிர்க்க

முடியாதவைகளாகவே உள்ளன. ஆல்பாத் துகள்களைக் கணக்கிடுங்கால், அத்துகள்கள் உள்ளே புகுவதற்கு வசதியாக எண்-குழலுடன் ஒரு மெல்லிய அப்பிரகத்தாலான (Mica) சாளரம் ஒன்று அமைக்கப்பெறுதல் வேண்டும்; காரணம், அத்துகள்கள் தடித்த வேறு எந்தப் பொருள்களையும் ஊடுருவிச் செல்ல இயலாது.

வில்சன் முகில் அறை:

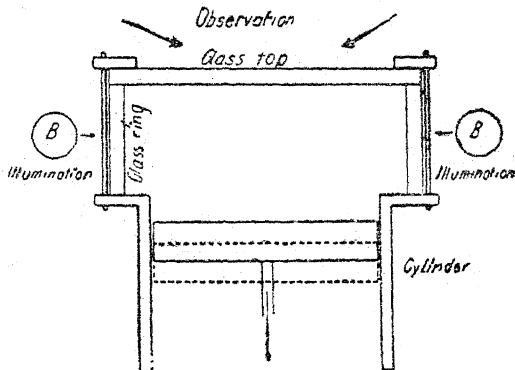
அணுக்கரு பௌதிக அறிஞரின் மற்றொரு முக்கியமான கருவி **வில்சன்**[3] முகில் அறை என்பது. இஃது எவ்வாறு செயற்படுகின்றது என்பதை இரண்டாவது சொற்பொழிவில் விளக்கினோம்[4]. இந்தப் பொறியமைப்பினால் மிகவும் முதன்மையாகவுள்ள ஒரு நன்மையுண்டு. அஃதாவது, இதனால் அணுக்கருச் செயல்களின் கண்ணுக்குப் புலனாகும் பதிவுகளைப் பெறுகின்றோம். அதே சமயத்தில் இக்கருவி அச்செயலின் பல்வேறு விவரங்களையும் நமக்குக் காட்டுகின்றது.

படம்—32 முகில் அறையின் ஓர் எளிய மாதிரி (Sketch) ஆகும். மேற்பகுதியில் நீராவியை நிறை நிலையில் (Saturated) கொண்ட காற்று உள்ளது. நாம் உற்று நோக்குவதற்காக அதன் உச்சிப்பகுதி ஒரு கண்ணாடித் தட்டினால் மூடப்பெற்றுள்ளது. கீழ்ப்பகுதியில் ஈரமான ஊன் பசைப்படலத்தால், (Layer of gelatine) மூடப்பெற்றி ஓர் இயங்கும் உந்து தண்டு (Piston) உள்ளது; இதனால், அதற்கு மேலுள்ள காற்று நீராவியை நிறை நிலையில் பெற்றுள்ளது. முகிற் சுவடுகளை நோக்குவதற்குத் தேவையான ஒளி பக்கங்களிலுள்ள துளை வழியாக அனுப்பப் பெறுகின்றது. உந்து தண்டு திடீரெனக் கீழ்நோக்கித் தள்ளப் பெறுகின்றது; இதனால் மாறா வெப்ப நிலையில் (Adiabatically) காற்று விரிவடைந்து குளிர்கின்றது. இதன்

3. வில்சன்-Wilson
4. இந்நூல்-பக்கம்—43

விளைவால் நீராவி அதிநிறை நிலையை (Supersaturated) அடைகின்றது; அறையினுள் நுழையும் துகளினால் உண்டாக்கப்பெறும் அயனியாதல் நிகழ்ச்சி அதன் வழி நெடுகத் திரவமாகச் சுருங்குதலை விளைவிக்கின்றது; இவைதாம் நாம் நன்கறிந்த முகிற் சுவடுகள் என்பவை.

எண் - கருவியுடன் கூடிய முகில் அறை:

முகில் அறையில் நாம் உற்றுநோக்க விழையும் பல நிகழ்ச்சிகள், சிறப்பாக அண்டக் கதிர்வீசலின் நிகழ்ச்சிகள், மிகவும் அரியனவாகவுள்ளன; உற்று நோக்குபவர் அவை நிகழ்வதற்கு முன்னர் பல மணி நேரம் காத்

படம் - 32: வில்சன் முகிலறையைக் காட்டும் எளியமுறையிலமைந்த விளக்கப்படம்

திருக்கவேண்டும். இத்தகைய ஓர் இயக்கத்தைக் காணும் வாய்ப்புக்களும் உண்மையில் மிகக் குறைவாகவே உள்ளன. ஆகவே, இத்தகைய அரிய நிகழ்ச்சிகளை நோக்குதற்குரிய வாய்ப்பினை மட்டிலும் நாம் நம்பி இருந்தால், இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளை மேற்கொள்ளுவதற்கு மிக

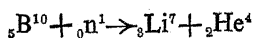
அதிகமான காலம் வேண்டும். எனினும், முகில் அறையை மிகத்திறனுடன் எண் - கருவியுடன் இணைத்து இச்சங்கடம் நீக்கப்பெறுகின்றது; எண் - கருவி முகில் அறையின் நுழை வாயிலில் ஒரு காவற்காரன்போல் செயல்புரிகின்றது. முகில் அறையில் நாம் உற்று நோக்க விழையும் சிறப்பான நிகழ்ச்சி யுடன் செயற்படுவதற்கேற்றவாறு எண் - கருவி சரி செய் யப்பெறுகின்றது. அத்தகையதொரு நிகழ்ச்சி உண்மையில் நடைபெற்ருல், எண் - கருவி ஒரு பெருக்கியின் மூலம் பெருக்கத்தை விளைவிக்கின்றது. முகில் அறையில் உண்டா கும் அயனிகள் துகள்களின் பாதைகளினின்றும்வாயு பரவுதல் மூலம் பிரிந்து செல்லாத அளவுக்கு இது மிக வேகமாக நடைபெறுகின்றது; ஆகவே, அவை முகிற் சுவடுகளாகக் கண்ணுக்குப் புலனுகின்றன. கடந்த பத்தாண்டுகளில் அண்டகதிர்வீசலின் இயல்பைப்பற்றிய சில முக்கியமான எடுகோள்களை (Data) இந்த முறைதான் நல்கியுள்ளது.

இறுதியாக, ஒளிப்படத்தட்டும் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களின் உற்றறியும் கருவியாகப் பயன்படுத்தப்பெற லாம். ஏற்கெனவே படம் - 25இல் ஓர் எடுத்துக்காட்டு காட்டப் பெற்றுள்ளது.

நியூட்ரான்களை உற்றறியும் பிரச்சினை:

இந்த முறைகள் ஒவ்வொரு கதிர்வீசலையும் (ஆல்பாக் கதிர்வீசல், பீட்டாக் கதிர்வீசல், மின்னூட்டத்தைச் சுமந்து செல்லும் எல்லாவகை அணுக்கருச் சிதைப்பொருள்கள் ஆகியவை) காமக்கதிர் ஃபோட்டான்களையும் கணக்கிட்டுக் காண்பதற்கோ, உற்றறிவதற்கோ நமக்குத் துணைபுரிகின்றன; ஆகவே, நியூட்ரான்களை உற்றறியும் பிரச்சினைமட்டிலுந் தான் இன்னும் விளக்கப்பெறுமல் உள்ளது. நியூட்ரான்கள் மின்னூட்டத்தினைச் சுமந்து செல்லாததால், அவை தாமாக அயனிகளை உண்டாக்கிக் கொள்வதில்லை; ஆகவே, நாம் அவற்றின் இருப்பை உற்றறிந்து காண்பதற்கு ஓர் இடைநிலை

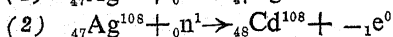
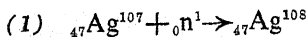
விளைவினைப் பயன்படுத்திக்கொள்ளவேண்டும். இதனை நிறை வேற்றுவதற்குப் போரான் எண் - கருவிதான் மிக எளிய சாதனமாக அமைகின்றது. இந்த எண் - கருவிச் சுவரின் உட்புறம் போரான் அல்லது போரானின் கூட்டுப்பொரு ளால் பூசப்பெற்றுள்ளது; இந்தக்குழல் விகித சம மண்டலத் தில் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றது. அதனால், அஃது ஆல்பாத் துகள்களை மட்டிலுமே கணக்கிடுகின்றது நியூட்ரான்கள் போரான் படலத்தினைத் தாக்கும்பொழுது, அவை அடியிற் காணும் அணுக்கரு இயக்கத்தினை உண்டாக்குகின்றது:

$$_5B^{10} + {}_0n^1 \rightarrow {}_3Li^7 + {}_2He^4$$

இந்த இயக்கம் விரைவில் ஹீலிய அணுக்கருகளை, அஃதா வது செயற்கை ஆல்பாத் துகள்களை, உண்டாக்குகின்றது; இதில் ஒரு நியூட்ரானுக்கு ஓர் ஆல்பாத்துகள் வீதம் உண்டா கின்றது. ஓர் அணுக்கரு இயக்கத்தைத் தூண்டும் ஒவ்வொரு நியூட்ரானும் எண் - கருவியை ஓர் துடிப்புடன் செயற் படச் செய்கின்றது; இந்த இயக்கத்தில் விதிய அணுக்கரு வும் பங்குகொள்ளுகின்றது. எண் - கருவியைத் தாக்கும் ஒவ் வொரு நியூட்ரானும் எந்த முறையிலும் ஓர் அணுக்கரு இயக்கத்தை நிகத்துவதில்லை; அவற்றுள் பெரும்பாலானவை எந்தவித விளைவினையும் உண்டாக்காது குழலைக் கடந்து செல்லுகின்றது. எனினும், எண் - கருவி நியூட்ரான்களின் எண்ணுக்கு விகித சமமாகவுள்ள எண்ணின் அளவு நியூட் ரான்களைப் பதிவு செய்கின்றது. விகிதசம மாறுத காரணி இன்னும் தெரிந்தபாடில்லை.

உளவு காட்டும் வழி - துலக்கி முறை:

அடிக்கடி கையாளப்பெறும் மற்றொரு முறை, நியூட் ரான்கள் இரும்பினை ஐயப்படக்கூடிய இடத்தில் ஓர் உளவு காட்டும் வழி துலக்கியை (Tracer) வைப்பது ஆகும். நியூட்ரா னால் தூண்டப்பெறும் அணுக்கரு இயக்கத்தால் செயற்கை

முறையில் கதிரியக்கமுள்ளதாகச் செய்யப்பெற்ற ஒரு பொருள்தான் உளவுகாட்டும் வழி - துலக்கி என்பது. மெல்லிய வெள்ளித் தகட்டினை இதற்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்ளலாம். அடியிற் குறிப்பிடப்பெறும் இரண்டு இயக்கங்கள் வெள்ளியில் இந்த ஒழுங்கில் நடைபெறுகின்றன:

$$(1)\quad {}_{47}Ag^{107}+{}_{0}n^{1}\rightarrow{}_{47}Ag^{108}$$
$$(2)\quad {}_{47}Ag^{108}+{}_{0}n^{1}\rightarrow{}_{48}Cd^{108}+{}_{-1}e^{0}$$

அஃதாவது, பொருண்மை - எண் 107 ஐக் கொண்ட வெள்ளி ஐசோடோப்பு முதலில் பொருண்மை-எண் 108 ஐக் கொண்ட ஐசோடோப்பாக மாறுகின்றது. இந்த இரண்டாவது வெள்ளி ஐசோடோப்பு நிலைத்த தன்மையுடையது அன்று; அதன் அரை - வாழ்வு 22 விநாடிகளே; அஃது ஓர் எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டுக் காட்மியம் அணு (${}_{48}Cd^{108}$) என்ற ஓர் அணுக்கரு ஐசோபாராக மாறுகின்றது, ${}_{47}Ag^{108}$ என்ற வெள்ளி அணு நிலைத்த தன்மையற்றதாகத்தான் இருக்க வேண்டும்; ஏனெனில், அதன் அணுக்கரு 61 நியூட்ரான்களையும் 47 புரோட்டான்களையும் கொண்டுள்ளது; அஃதாவது, அஃது 'இரு மடங்கு ஒற்றைப்படை' அணுக்கருவினைக் கொண்டதாகும்.

ஏற்கெனவே நாம் அறிந்துள்ளபடி விரைந்து செல்லும் நியூட்ரான்களை விட மெதுவாகச் செல்லும் நியூட்ரான்களே சாதாரணமாகச் சிறைப்படுத்தப்பெறக்கூடியனவாக இருப்பதால், விரைந்து செல்லும் நியூட்ரான்களைவிட மெதுவாகச் செல்லும் நியூட்ரான்களையே ஒரு போரான் எண் - கருவி அதிக எண்ணிக்கையில் பதிவு செய்கின்றது. இந்த வகை எண் - கருவி ஒன்று விரைந்து செல்லும் நியூட்ரான்களின் மூலத்தருகில் கொண்டுவரப்பெறுங்கால், ஓர் ஒலிபெருக்கி பயன்படுத்தப்பெறக்கூடும்; இந்த ஒலிபெருக்கி தனிப்பட்ட உட்துடிப்புக்களை ஒரு குறிப்பிட்ட சராசரி வீதப்படி—விநாடி ஒன்றுக்கு ஒன்று வீதம்—கேட்கும்படி செய்ய வல்லது. பாரஃபின்மெழுகு போன்ற ஹைட்ரஜனைக் கொண்ட ஒரு

பொருளின் ஊடே நியூட்ரான்களைக் கடந்து செல்லு மாறு செய்து அவற்றின் வேகத்தைக் குறைக்கலாம் என் பது ஏற்கெனவே நமக்குத் தெரியும். எண்-கருவியைப் பாரஃபின் மெழுகால் சூழப்பெறச் செய்தால், உட்துடிப்புக் கள் பெரிய அளவில் பெருக்கப்படும்; அதனாலுண்டாகும் வெடிப்பொலியும் நம் காதிற்கு நன்கு புலனாகும். இவ்வாறு, பாரஃபின் மெழுகினைப் பயன்படுத்தினால் அது விளைவினைக் குறைத்துவிடும் என்று பொதுவாக நாம் கொண்டிருந்த கருத்திற்கு மாறாக, விளைவினை அதிக வன்மையாக்கு வதையே நாம் காண்கின்றோம். நியூட்ரான்களின் வேகத் தைத் தணித்து அணுக்கரு மாற்றங்களின் வெளிப்பாட்டினை அதிகரிக்கச் செய்யும் இந்த முறைதான் அணுக்கரு பௌதி கத்தில் அடிக்கடி மேற்கொள்ளப்பெறுகின்றது.

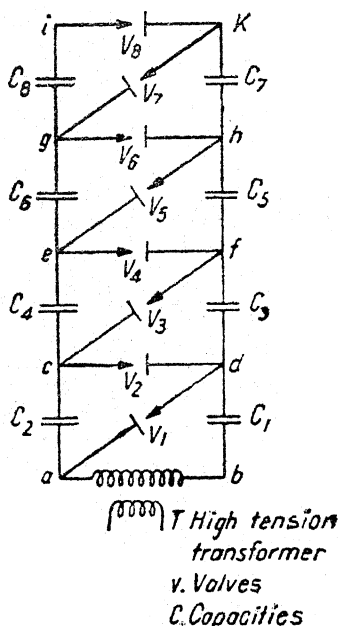
(II) அணுக்கரு உரு மாற்றத்தை உண்டாக்கும் செயல் முறைகள்

ஆற்றல் மிக்க துகள்கள்:

அணுக்கரு உருமாற்றத்தை விளைவிப்பதற்கு ஆற்றலை அதிகமாகக்கொண்ட துகள்களே தேவை என்பது ஒரு பொது விதியாகும். நியூட்ரான்களால் உருமாற்றம் தூண் டப்பெறும்பொழுதுமட்டிலுந்தான் தாக்கும் துகள் கொண் டுள்ள ஆற்றலின் அளவு எவ்வளவுக்குச் சாத்தியப்படுமோ அவ்வளவுக்கு அடிக்கடிக் குறைக்கப்பெறுகின்றது. ஆனால், தொடக்கத்தில் நியூட்ரான்கள், விரைவாகச் செல்லும் துகள் களால் தூண்டப்பெறும் அணுக்கரு இயக்கத்தால் உண்டாக் கப் பெறுதல் வேண்டும்; ஆல்பாத் துகள்களால் பெரிலியம் தாக்குறுதல் இதற்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாகும்.

துகள்களைத்தரும் இயற்கை மூலங்கள்:

இயற்கையே நமக்கு ஆற்றல் மிக அதிகமாகக்கொண்ட துகளை மிகச் சௌகர்யமான மூலமாக அளிக்கின்றது; அவை

தாம் இயற்கையாக ஆல்பாத்துகளை வெளிப்படுத்தும் பொருள்களாகும். உண்மையில், மிக வன்மை வாய்ந்த கதிரியக்கமுள்ள தயாரிப்புக்களினின்றும் வெளிப்படும் கதிர் வீசலும் சாதாரணமாகக் குறைவான ஆற்றலுடையதாகவே வுள்ளது; அஃது ஒரு குறைந்த எண்ணிக்கையுள்ள அணுக்களை மட்டிலுமே உருமாற்றம் அடையச் செய்வதற்குப் போது

படம்-33: கிரைநாச்சரின் அமைப்பினை விளக்குவது

மானது. அதற்குமாறாகச் சாத்தியப்படக்கூடிய எல்லாவித உருமாற்றங்களையும் உண்டாக்குவதற்கு ஆல்பாத் துகள்களு டன் இன்னும் வேறுவகைத் துகள்களும், அஃதாவது விரைந்து இயங்கும் புரோட்டான்களும் ட்யூடெரான்களும்' தேவைப்படுகின்றன.

மிக உயர்ந்த ஆற்றலுடன்கூடிய துகள்களை உண்டாக்கு வதற்கு மிகச்சிறந்த காரண காரிய முறையுடன்கூடிய ஒரு வழியுண்டு; மின்னூட்டம்பெற்ற துகள்களை மிக அதிகமான, அஃதாவது 1,000,000 வோல்ட்டுகள் அல்லது அதற்குமேற் பட்ட வோல்ட்டுகளைக் கொண்ட மின் அழுத்தத்தால் முடுக் கப் பெறுவதுதான் அது. ஆயினும், நேர் மின்னோட்ட மின் அழுத்தத்தையே பயன்படுத்துதல் வேண்டும். என்றாலும், அத்தகைய உயர்ந்த நேர் மின்னோட்ட மின் அழுத்தத்தை உண்டாக்குவது, அதே அளவு மாறு மின்னோட்ட மின் அழுத் தத்தை உண்டாக்குவதைவிட, மிகவும் சிரமமானது.

கிரைனேஷர் சுற்று:

இன்று கிரைநாச்சர் சுற்று[5] என்று வழங்கப்பெறும் ஓர் அமைப்பு (படம்-33) எங்கனும் பெரு வழக்கில் மேற்கொள் ளப்பெறுகின்றது. மின்-தங்கியுடன் (C) கூடிய இரண்டு வரிசைகள் (Columns) ஒரு வால்வுகளின் அமைப்பினால் (V) சேர்க்கப்பெறுகின்றன; ஒவ்வொரு வரிசையும் ஓர் எலக்ட்ரான் கற்றை ஒரே திசையில்மட்டிலும் தன் னுள்ளே கடந்து செல்லுமாறு அமைந்துள்ளது; நம் முடைய விளக்கப்படத்தில் அம்புக்குறிகள் அத்திசை யைக் காட்டுகின்றன. அமைப்பு முழுவதும் இவ்வாறு ஏற் பாடு செய்யப்பெற்றுள்ளது; எடுத்துக்காட்டாக, d என்ற புள்ளி அஃதுடன் தொடர்புள்ள பூமியுடன் இணைந்த a என்ற புள்ளியில் மின் இறக்கம் ஏற்படாமல் நேர் மின்னூட்டம் (ஆனால், எதிர் மின்னூட்டம் அன்று) பெறச் செய்யலாம். இவ்வாறே d யை நோக்க c நேர்மின்னூட்டம் பெறவும், c யை நோக்க f அவ்வாறே பெறவும், f-ஐ நோக்க e அங் ஙனமே பெறவும் செய்யக்கூடும். இப்பொழுது ஒரு மாறு மின்னோட்ட மின் அழுத்தம் (சாதாரணமாக 200 லிருந்து 300 கிலோ வோல்ட் வரையிலும்) இரண்டு வரிசைகளுக்

---

5. கிரைநாச்சர் சுற்று—Greinacher circuit

கிடையிலும் ஒரு மாற்றியின்மூலம் (Transformer) பொருத்தப் பெற்றால், ஒரு கால எல்லை முழுவதும், எடுத்துக்காட்டாக d புள்ளியின் மாறு மின்னோட்ட மின் அழுத்தம் எப்பொழுதும் a புள்ளியின் மின் அழுத்தத்திற்குக் கீழ் தணியாதவரையில், d, c, f முதலிய புள்ளிகள் வால்வுகளின் மூலம் நேர்மின்னூட்டம் பெறுகின்றன; a-யின் மின் அழுத்தம் O க்குச் சமமாக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்; இல்லாவிட்டால் V_1 என்ற வால்வு வழியாக ஒரு மின்னோட்டம் இன்னும் பாய்ந்து கொண்டேயிருக்கும். எனவே, மாற்றியின் மிக உயர்ந்த மின் அழுத்தம் +E ஆக இருந்தால், அமைதி நிலையிலுள்ள d என்ற புள்ளியின் மின் அழுத்தம் O-க்கும் 2 E-க்கும் இடையே ஏற்ற இறக்கம் இருந்துகொண்டேயிருக்கும்; c என்ற புள்ளி மாறாத 2 E என்ற மின் அழுத்தத்தைப் பெற்றிருக்கும். அப்பொழுது வால்வுகளின் வழியாக மின்னோட்டம் பாய்வதில்லை. இங்ஙனமே, ஓர் அமைதி நிலையில் (Stationary state) e, g, i என்ற புள்ளிகள் முறையே 4E, 6E, 8E என்ற மாறாத மின் அழுத்தங்களைப் பெற்றுள்ளன; f, h, k என்ற புள்ளிகளின் மின் அழுத்தம் முறையே 2E-க்கும் 4E-க்கும் இடையிலும் 4E-க்கும் 6E-க்கும் இடையிலும், 6E-க்கும் 8E-க்கும் இடையிலும் ஏறி-இறங்கிக்கொண்டே இருக்கின்றது. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு மின்னோட்டம் i என்ற புள்ளியில் புகும்பொழுது, அங்குள்ள மின் அழுத்தம் சிறிதளவு குறைகின்றது; வால்வுகள் அம்புக்குறி காட்டும் திசையில் ஓர் எலக்ட்ரான் கற்றையைப் புக விடுகின்றன; இந்த எலக்ட்ரான்கள் மின்னூட்டத்தைச் சுமந்து செல்லுவதால், i என்ற புள்ளியின் மின் அழுத்தம் 8E-க்குக் கீழ் மிக அதிகயாகத் தணிந்து போவதில்லை. எனவே, n படிகள் கடந்துசென்று நாம் மாற்றியின் 2n-மடங்கு (2n-fold) மிக உயர்ந்தமின் அழுத்தத்தைப் பெறுகின்றோம்; எடுத்துக்காட்டாக, தொடக்க மின் அழுத்தம் E, 200 கிலோ வோல்ட்டாகஇருந்து மூன்றுபடிகளை நாம் பயன்படுத்தினால், இறுதியாகக் கிடைக்கும் நேர்-மின்னூட்ட மின் அழுத்தம் 1,200,000 வோல்ட்டுகளாக அமைகின்றது.

படம்-34, பெர்லின்-டாலெம்[6] என்ற இடத்திலமைந் துள்ள கெய்சர் வில்ஹெல்ம் பௌதிக ஆராய்ச்சி நிலையத்[7] திலுள்ள உயர் மின் அழுத்த மின்னூக்கியின் (High-voltage generator) வெளிப்புறத் தோற்றத்தைக் காட்டுகின்றது. சாய்ந்த நிலையிலுள்ள பகுதிகள் வால்வுகளாகும்; கோளங் கள் படம்-33-லுள்ள c, e, f என்ற புள்ளிகளை ஒத்துள்ளன.

இவ்வாறு உண்டாக்கப் பெறும் உயர்-மின் அழுத்தம் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்களை முடுக்கப் பயன்படுத்த வேண்டும். இங்குக் குறிப்பிட்ட மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் கள் சாதாரணமாக ஒரு மின்னிறக்கக் குழலில் கால்வாய்க் கதிர்களாகத் தோன்றுகின்றன. அவை பிறகு இரண்டு கோடிகளுக்கிடையே உயர்-மின் அழுத்தத்துடன் (High voltage drop) இருக்கும். உயர்முறையில் வெற்றிடமாக்கப் பெற்ற முடுக்கக் குழலினுள் (Accelerator tubes) நுழை கின்றன, முடுக்கக் குழலின் முனையில் மாற்றம் செய்வதற் காகவுள்ள பொருளை அவை தாக்குகின்றன.

வான் டி கிராஃ உயர் மின்னழுத்த மின்னூக்கி:

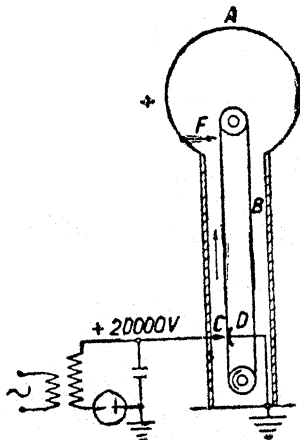
இந்தத் துணைக்கருவியின் குறை யாதெனில், அது மிகவும் விலையுயர்ந்ததாக இருப்பது தான். ஆகவே, அதே முடிவுகளை எளிய முறைகளில் அடை வதற்கேற்ற முயற்சிகள் மேற் கொள்ளப் பெற் றுள்ளன. இந்தச் சந்தர்ப்பத்தில் வான் டி கிராப்[8] உயர் மின் னழுத்த மின்னூக்கி (High voltage generator) நம் கவனத் திற்கு வருகின்றது. அது பழைய, இப்பொழுது மேற்கொள் ளப்பெறாத செல்வாக்குப் பொறி விதியின் (Principle of the

---

6 பெர்லின்-டாலெம்-Berlen-Dahlem

7 கெய்ஸர் வில்ஹெம்ஸ் பௌதிக ஆராய்ச்சி நிலையம்—(Kaiser wilhalm institut fur physik)

8. வான் டி கிராப்—Van de graaff

influence machine) அடிப்படையில் அமைந்துள்ளது. இந்த மின்னூக்கி ஒரு பெரிய உட்குழிவுள்ள உலோகக் கோளம் (Metal sphera) அல்லது உருளையினு லானது; இஃது ஒரு கடத்தியாகப் பயன்படுகின்றது. ஒரு கப்பி (Pulley) கோளத்தினுள்ளும் இன்னொரு கப்பி அதன்கீழும் அமைக்கப்பெற்றுள்ளன. அகண்ட மூடப்பெற்ற வார்ச்சுற்று (Belt) ஒன்று

படம்-35: வான் டிகிராஃபின் உயிர் இழுவிசை ஆக்கப் பொறியினை விளக்குவது.

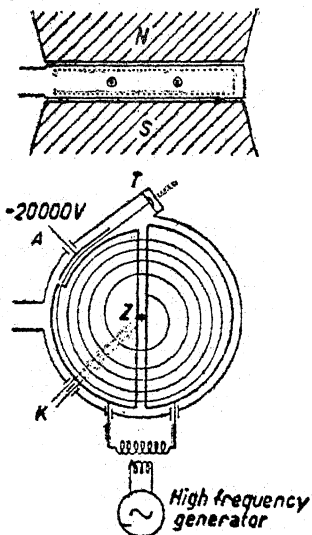
இரண்டு கப்பிகளின்மீதும் செல்லுகின்றது; இந்த வார்ச்சுற்று பட்டு போன்றகாப்பிடும் பொருளாலானது. கடத்திக்கு வெளியே ஒரு சீராக்கியினுலும் (Rectifier) ஒரு கொரன்னுசீப்பினுலும் மின்னூட்டம் வார்ச் சுற்றின் மீது தூவப் பெறுகின்றது. வார்ச்சுற்று இந்த மின்னூட்டத்தைச் சுமந்து கொண்டு கடத்தியினுள் நுழைகின்றது; அங்கு இரண்டாவது கொரன்னு சீப்பினல் (Corona comb) அம்மின்னூட்டம் அகற்றப்பெற்றுக் கடத்திக்கு மாற்றப்பெறுகின்றது. இவ்வாறு கடத்தியை நாம் விரும்புகின்ற மின் அழுத்த அளவிற்கு மின்னூட்டம் பெறச் செய்யலாம். மின்னூக்கி அமைக்

கப்பெற்றுள்ள இட வகையளவுகளினுல் சில வரையறைகள் (Limitations) சுமத்தப்பெறுகின்றன; ஏனெனில், ஒரு குறிப்பிட்ட மின் அழுத்தத்தை அடைந்ததும், (இந்த மின் அழுத்தத்தின் அளவு இந்த இடவகையளவுகளையும் கடத்தியின் வகையளவுகளையும் பொறுத்தது), ஒரு பொறி சுவர்களின் குறுக்கே தாண்டிக் குதித்துக் கடத்தியில் மின் இறக்கத்தை உண்டாக்குகின்றது. 1939-இல் 2,000,000வோல்ட்டுகளுக்கு மேல் அடையக்கூடிய செயற்படும் மின்னுக்கி இருந்ததில்லை. படம்-36, இத்தகைய மிகப் பெரிய அமைப்பினைக் காட்டுகின்றது; பல ஆண்டுகட்கு முன்னர் அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் இஃது கட்டட அமைப்பு நிலையில் இருந்தது. அது 5,000,000வோல்ட்டுகளை உற்பத்தி செய்வதற்காகவே அமைக்கப்பெற்றது. ஆகவே, அஃது ஒரு மிகப்பெரிய இடத்தில்—ஒரு பழைய ஆகாயக் கப்பல் வைக்கும் லாயத்தில்—அமைக்கப்பெற்றது. மின் இறக்கக் குழலுக்கு இரு மடங்கு மின் அழுத்தத்தை உண்டாக்குவதற்காக அதில் இரண்டு கடத்திகள் உள்ளன; அவை எதிரான நிலையிலுள்ள மின்னூட்டங்களால் மின்னேற்றம் பெறச் செய்யப்படுகின்றன.

லாரென்ஸ் சைக்ளோட்ரான்:

விரைவாகச் செல்லும் துகள்களை உண்டாக்குவதில் இதுகாறும் கண்டறியப்பெற்றுள்ள துணைக்கருவிகளில் மிகத் திறனுடையது அமெரிக்க நாட்டைச் சேர்ந்த லாரென்ஸ்[9] என்பார் கண்டறிந்த சைக்ளோட்ரான் (Cyclotron) என்பது. இக்கருவி மிகக் கவர்ச்சியான விதியின் அடிப்படையில் அமைக்கப்பெற்றுள்ளது; அஃதாவது, ஒரே அளவுள்ள. ஆனல் மிக உயர்ந்த அளவிலாத, மின் அழுத்தத்தினுல் திரும்பத் திரும்ப மேற்கொள்ளப்பெறும் முடுக்கம்தான் அந்த விதியாகும்; இக்கருவி பெற்றுள்ள பல நிறைகளில்

9. லாரென்ஸ்—Lawrence.

ஒரு நல்ல சிறப்புக்கூறு-குறிப்பிடத்தக்கது; உண்டாக்குவதற்கும் கட்டுப்படுத்துவதற்கும் மிகவும் சிரமமாகவுள்ள உயர் மின்அழுத்தத்தை இக்கருவி அடியோடு நீக்கி விடுகின்றது, சைக்ளோட்ரானின் இன்றியமையாத பகுதி அதிலுள்ள மிகப்பெரிய மின்-காந்தமாகும்; அக் காந்தம் தனது இரு துருவத் துண்டுகளுக்கும் இடையில் வன்மை வாய்ந்த, மிகவும் ஒருபடித்தானதும் விரிந்ததுவுமான 10,000,

படம்-37: சைக்ளோட்ரானை விளக்குவது.

லிருந்து 15,000 ஒயர்ஸ்டெட்டு (Oersteds) அளவுகள் காந்தப் புலத்தை உண்டாக்குகின்றது. துருவத் துண்டுகள் ஒன்றற்கொன்று மிகவும் அருகிலிருக்குமாறு வைக்கப்பெற்றுள்ளன; அவற்றிற்கிடையிலுள்ள இடமும் மிக நன்ருக வெற்றிடமாக்கப் பெற்றுள்ளது. இயங்கும் நிலையிலுள்ள ஒருதுகள் அத்தகைய ஒரு புலத்தினுள் நுழையுங்கால், அஃது ஒரு வட்ட வடிவமான பாதையில் செல்லுகின்றது. அப்பாதை

யின் ஆரம் அத்துகளின் நேர் வேகத்திற்கு விகித சமமாக உள்ளது (படம்-37). ஆகவே, துகள்களின் நேர் வேகம் வட்டத்தின் சுற்றளவிற்கு விகித சமமாகவுள்ளது; இதன் விளைவாக, ஒரே வகைத் துகள்கள், அவை வெவ்வேறு நேர் வேகங்களைப் பெற்றிருப்பினும், ஒரு முழுச் சுற்றையும் முற்றுப்பெறச் செய்வதற்குச் சரியாக ஒரே அளவு காலத்தைத் தான் எடுத்துக் கொள்கின்றன. இரண்டு துருவத் துண்டுகளுக்கிடையிலுள்ள இடத்தில் டீ-க்கள் (Dees) எனப்படும் இரண்டு அரை-உருளை வடிவப் பெட்டிகள் அமைக்கப்பெற்றுள்ளன; அவை ஒன்றோடொன்று சேராமல் காப்பிடப் பெற்றுள்ளன; இந்த இரண்டு டீக்களினிடையே ஓர் உயர்-அதிர்வு மின்னுக்கியினால் 30—100 கிலோவோல்ட் அளவு மின் அழுத்த வேற்றுமை உண்டாக்கப்பெறுகின்றது. இதன் விளைவு யாதெனில், டீ-க்களிடையேயுள்ள சிறிய இடத்தில் ஒரு உயர் மாறு புலம் (High freqency alternting field) உண்டாகின்றது. இந்த மாறு புலத்தின் அதிர்வு மின்புலத்திலுள்ள துகள்களின் சுற்று பொழுதுக்குச் சரியான (Period of revoluation) ஒத்திருக்குமாறு ஒழுங்கு படுத்தப்பெறுகின்றது. மையத்திற்கருகில் (Z) துருவத்துண்டுகளுக்கிடையிலுள்ள இடத்தில் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள் நுழையுமாறு செய்யப் பெறுகின்றன; அங்கு அவை மின்புலத்தின் செல்வாக்கிற்குட்படுகின்றன; அவை ஒரு குறிப்பிட்ட நேர் வேகத்தைப் பெற்று காந்தப் புலம் மட்டிலும் உள்ள ஒரு டீ-யின் உட்புறமுள்ள இடைவெளியில் அரை-வட்ட வடிவில் இயங்குகின்றன. இந்த முறையில் அவை சென்று, அவற்றின் மின் அழுத்த வீழ்ச்சி தொடக்க நிலை முடுக்கத்தின் பொழுதுள்ள மின் அழுத்த வீழ்ச்சிக்குச் சரிசமமாகவும், ஆனால் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கும் சரியான சமயத்தில் அவை டீ-க்கு இடையிலுள்ள கால்வாயை (Channel) அடைகின்றன. ஆயினும், அவை இப்பொழுது ஒரு டீ-யிலிருந்து மற்றொரு டீ-க்கு எதிர் நிலையில் சென்று கொண்டிருக்கின்றன; இது மின் புலத்திற்கு எதிராகவுள்ளது; இதன் விளைவாக அவை மேலும் முடுக்கப்

பெறுகின்றன. ஆகவே, இதே செயல் திரும்பத்திரும்ப நடைபெறுகின்றது; துகள்களின் நேர் வேகமும் தொடர்ந்து அதிகரித்துக்கொண்டே வருகின்றது. அவை ஒரு சாளரத்தின் வழியாகத் (T) தாம் வீசியெறியப்பெறும்வரை அரை வட்டங்களாலான கிட்டத்தட்ட ஒரு நீள் சுருள் அயன வீதியில் (Spiral orbit) வெளி நோக்கிச் செல்லுகின்றன; இந்தச் சாளரம் அவற்றால் ஊடுருவிச் செல்லப்பெறுவதற்கேற்றவாறு அமைக்கப்பெற்றுள்ளது; சாளரத்தின் வழியே வெளியேறுங்கால், அவை தம்முடைய பணியை, அஃதாவது அணுக்கரு இயக்கங்கள் உண்டாக்குவதை, நிறைவேற்றுகின்றன.

சைக்ளோட்ரான்களைப்பற்றிய சில புள்ளி விவரங்கள்:

இத்தகைய ஒரு துணைக்கருவியைச் சரியான முறையில் பொருத்திக் கையாளுவதற்கு மிகச் சிறந்த தொழில் நுணுக்கத் திறன் வேண்டும். மேலும், பௌதிக ஆராய்ச்சியில் அரிதாக மேற்கொள்ளப்பெறும் எந்த துணைக்கருவியைக் காட்டிலும் சைக்ளோட்ரான் என்பது பெரிய அளவிலுள்ள ஓர் பொறியாகும். ஒரு சில புள்ளி விவரங்களைக்கூறி இதனை விளக்குவோம். சில காலம் அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் பயன்படுத்தப்பெற்ற சைக்ளோட்ரானின் துருவத் துண்டுகள் 95 செ.மீ குறுக்களவுள்ளவை. இந்தச் சைக்ளோட்ரானின் காந்தம் 14,000 ஓயர்ஸ்டெட்டுகள் அளவுள்ள காந்தப் புலத்தை உண்டாக்குகின்றது; இது செய்யப்பெறுவதற்கு 60 டன் இரும்பும் 10 டன் தாமிரமும் பயன்பட்டன. 14,000 ஓயர்ஸ்டெட்டு அளவுள்ள காந்தப்புலத்தை உண்டாக்குவதற்கு 30 கிலோ வாட்டுகள் மின்சாரம் செலவாகின்றது. இந்தச் சைக்ளோட்ரான் ட்யூடெரான்களை முடுக்குவதற்குப் பயன்படுத்தப்பெற்றால், அவை அதிலிருந்து 9Mev ஆற்றலுடன் வெளியேறுகின்றன; அஃதாவது, அவை 9,000,000 வோல்ட்டுக்கள் உள்ள ஒரு மின் அழுத்த வீழ்ச்சியினுள் (Potential drop) சென்றால் பெறக்கூடிய ஆற்றலைப் பெறுகின்றன இந்த மின் அழுத்த வீழ்ச்சியினுள் பாய்ந்துசெல்லும்

1 மில்லி ஆம்பியர் மின்னேட்டம், கிட்டத்தட்ட 1 கிலோ வாட் (சரியாகச் சொன்னல் 900 வாட்டுகள்) மின்னாற்றலைக் குறிக்கின்றது. ஒவ்வொரு துகளும் 1.6×10^{-19} கூலாங்கள் அளவுள்ள மின்சாரத்தைக் கொண்டிருப்பதால், இந்த மின்னேட்டம் கிட்டத்தட்ட விஞடியொன்றுக்கு 6×10^{14} துகள்களைக் கொண்டுள்ளது என்று கணக்கிடுவது எளிது.

இத்தகைய சைக்ளோட்ரான் ஒன்றன் வெளித்தோற்றத்தைப் படம்-38 காட்டுகின்றது. காந்தத்தின் சுற்றுக்கள் கண்ணுக்குப் புலனுகின்றன; துருவத்துண்டுகளுக்கிடையில் டீ-க்கள் உள்ளன; அத்த டீ-க்களில் துகள்கள் தம்முடைய முடுக்கத்தைத் தொடங்குகின்றன. சைக்ளோட்ரானிலிருந்து வெளிவரும் கற்றையும் ஒளிப்படத்தில் கண்ணுக்குப் புலனுகின்றது.

அமெரிக்காவில் அமைக்கப்பெற்ற ஒரு மிகப் பெரிய சைக்ளோட்ரான்:

அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் ஏற்கெனவே எண்ணற்ற சைக்ளோட்ரான்கள் செயற்படுகின்றன. ஐரோப்பாவிலும் பல சைக்ளோட்ரான்கள் அமைக்கப்பெற்றுள்ளன. 1944-லிருந்து ஜெர்மெனியும் ஹெய்டெல்பெர்க்[10]கிலுள்ள கெய்சர் வில்ஹெல்ம் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் ஒரு சைக்ளோட்ரானைப் பெற்றுள்ளது; இந்தச் சைக்ளோட்ரான் முக்கியமாக மருத்துவத்திற்கென்றே அமைக்கப்பெற்றது. அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் சைக்ளோட்ரானுக்காகச் செலவிடப்பெற்ற பணத்தின் அளவுகொண்டு அஃது உலகில் எவ்வளவு முக்கியத்துவம் பெற்றுள்ளது என்பதை விளக்கிக் காட்டலாம்; அங்குத்தான் 1940-இல் ஒரு மாபெரும் சைக்ளோட்ரானின் உத்தேச அமைப்பு முற்றுப்பெற்றது; அதன் பருமன் ஒரு போர்க் கப்பலைப்போல் காட்சியளித்ததேயன்றி ஓர் அறிவியல் கருவி போல் தோற்றம் அளிக்கவில்லை. அதன் துருவத் துண்டுகள்

10. ஹெய்டெல்பெர்க்—Heidelberg.

4·7 மீட்டர் குறுக்களவுள்ளது; அதன் காந்தம் 17·8 மீட்டர் நீளமுள்ளது (படம்-39). அதன் அடிப்படைத்தளம் 1,200 டன் கப்பியைக் (Concrete) கொண்டுள்ளது; காந்தத்தில் 3,700 டன் இரும்பும், 300 டன் தாமிரமும் அடங்கியுள்ளன; அக்காந்தம் 10·2 செ.மீ அகலமும் 6 மி.மீ கனமும் உள்ள ஒரு துண்டாகச் சுற்றப்பெற்றுள்ளது. காந்தத்தின் சட்டம் ஒவ்வொன்றும் 5·5 மி.மீ கனமுள்ள 36 எஃகுத் தட்டுக்களால் ஆக்கப்பெற்றுள்ளது. காந்தப் புலத்தின் உறைப்பு 10,000 ஓயர்ஸ்டெட்டுகள்; மாறு மின்புலத்தின் அதிர்வு-எண் 39 மீட்டருள்ள அலை நீளத்துடன் ஒத்துள்ளது. போருக்குப் பிறகு லாரென்ஸ் என்பார் இதன் அமைப்பை முற்றுப்பெறச் செய்தார்; ட்யூடெரான்களை 100 Mev வரையிலும், ஆல்பாத்துகள்களை 200 Mev வரையிலும் முடுக்குவதற்கு அக்கருவி அவருக்குத் துணையாக இருந்தது.

சுருங்கக்கூறின், சைக்ளோட்ரான் மிகவும் விலையுயர்ந்த ஒரு துணைக்கருவியாகும்; அது மிகச்சிக்கலான அமைப்பினை கொண்டதுவுமாகும். எனினும், அஃது இன்னும் அதே செயலுககாக மிகவும் பயனுள்ள முறையில் மேற்கொள்ளப்பெறும் அணுக்கரு பௌதிக ஆராய்ச்சிக் கருவியாகத் திகழ்கின்றது. அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் வேறு எந்த முறைகளாலும் சாத்தியப்படாத பல அணுக்கரு இயக்கங்களை இக்கருவி முற்றுப்பெறச் செய்துள்ளது.

8. அணுக்கரு பௌதிகத்தின் செய்முறைப் பிரயோகங்கள்

(I) பயனுள்ள செயல்களில் அணுவாற்றலைப் பயன்படுத்துதல்

வேதியியலின் ஒப்புடைமை அணுக் கருவினைகளை விளக்கப் பயன்படுதல்:

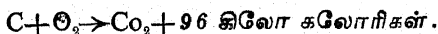
அணுக்கரு பௌதிகத்தின் செய்முறைப் பிரயோகங்களை ஆராயுங்கால், வேதியியலிலுள்ள ஒப்புடைமைகளைக்கொண்டு தொடங்கினால் பெரிதும் துணையாக இருக்கும். வேதியியல் என்பது, பல்வேறு தனிமங்கள் ஒன்று சேர்ந்து மிகச் சிக்கலான பொருள்கள் உண்டாவதைக் கூறுவது; அஃதாவது' வேதியியல் கூட்டுப்பொருள்கள் என்பவை உண்டாகும் முறைகளைக் கூறும் துறையாகும் அது; அன்றியும், அந்தக் கூட்டுப் பொருள்களினின்றும் தனிமங்களைப் பிரித்தெடுத்தலையும் அஃது எடுத்துரைக்கும். ஆனால் அணுக்கரு பௌதிகம் என்பது, ஒரு தனிமம் பிறிதொரு தனிமமாக உருமாற்றம் அடைதலை எடுத்தியம்பும் ஒரு துறையாகும். வேதியியற்செயல்கள் அடிப்படையில் வேற்றுமையுள்ள இரண்டு பயன்களை விளைவிக்கின்றன: முதலாவது, அவை குறைந்த மதிப்புடைய பொருள்களை உயர்ந்த மதிப்புடைய பொருள்களாக மாற்றுவதற்குப் பயன்படுத்தப் பெறக்கூடும். கரியும் ஹைட்ரஜனும் சேர்ந்து 'பென்சால்' என்ற பொருள் உண்டாதலை இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்ளலாம். இரண்டாவது, வேதியியல் மாற்றம் ஆற்றலைப் பெறுவதற்குப் பயன்படுத்தப் பெறக்கூடும்.

நிலக்கரி எரிதலால் கரியமிலவாயு உண்டாகி வெப்பத்தைத் தருதல் இதற்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாகும். இந்த இரண்டு பிரயோகங்களும் ஒன்றைச் சாராது பிறிதொன்று தனித்த நிலையில் இல்லை என்பது வெளிப்படை. ஒரு பொருளை உற்பத்தி செய்வதெல்லாம் பெரும்பாலும் அப்பொருளை ஓர் ஆற்றல் மூலமாகப் பயன்படுத்துவதற்காகவே என்பது அடிக்கடி நாம் காணும் நிகழ்ச்சி. பென்சாலின் உற்பத்தியையே இதற்கு ஓர் எடுத்துக்காட்டாகக் கொள்ளலாம்.

இந்த நிலை அணுக்கருச் செயல்களுக்கும் பொருந்தும் என்று கூறலாம். முதலாவதாக, இச்செயல்கள் குறைந்த மதிப்புடைய பொருளிலிருந்து அதிக மதிப்புடைய பொருளை உண்டாக்குவதற்குப் பயன்படுத்தப்பெறலாம்; இரண்டாவதாக, ஆற்றலை உற்பத்தி செய்வதில் அவை சாதனங்களாகவும் பயன்படுத்தப்பெறக் கூடும்.

ஓர் எடுத்துக்காட்டு:

அணுக்கரு செயல்களின்மூலம் கிடைக்கும் ஆற்றல் அளவின் தரத்தைப்பற்றிய ஓரளவு விளக்கமான கருத்தினைப் பெறுவதற்கு வேதியியலிலுள்ள மற்றோர் ஒப்புடைமையைப் பயன்படுத்திக் கொள்வோம். கரி, ஆக்ஸிஜனுடன் சேர்ந்து எரிந்து கரிமிலவாயுவை உண்டாக்குவதை ஒரு சமன்பாட்டின்மூலம் இவ்வாறு எழுதி விளக்கலாம்:

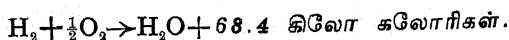
$C + O_2 \rightarrow Co_2 + 96$ கிலோ கலோரிகள்.

இந்தச் சமன்பாடு[1] மேற்கூறப்பெற்ற செயலில் வெளிப்படும் ஆற்றலையும் காட்டுகின்றது. இந்த வாய்பாடு 1 மோல், 1 கிராம்-அணு என்ற அலகுகளை உணர்த்துகின்றது; அஃதாவது, 1 கிராம்-அணு கரி (12 கிராம் கரி) 1 மோல் வாயுநிலையி

1. C - கரி; O_2 - ஆக்ஸிஜன்; CO_2 - கரியமிலவாயு. மாற்றம் போகும் வழியை அம்புக்குறி உணர்த்துகின்றது.

லுள்ள ஆக்ஸிஜனுடன் (32 கிராம் வாயுநிலை ஆக்ஸிஜன்) சேர்ந்து 1 மோல் கரியமிலவாயுவை (44 கிராம் கரியமில வாயு) உண்டாக்கி 96 கிலோ கலோரிகள் வெப்பத்தையும் விடுவிக்கின்றது என்பதை விளக்குகின்றது.

மற்றோர் எடுத்துக்காட்டு:

இன்னும் ஓர் எடுத்துக்காட்டு ஆக்ஸிஜன், ஹைட்ரஜனுடன் சேர்ந்து நீரினை உண்டாக்குவதாகும். மேற்கூறிய வாறே மோல் அலகுகளை உணர்த்தி இச்செயலினை விளக்கும் வாய்பாடு[2] இவ்வாறு எழுதப் பெறுகின்றது:

$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + 68.4$ கிலோ கலோரிகள்.

ஒவ்வொரு மோல் நீர் உண்டாகும்பொழுதும் 68.4 கிலோ கலோரிகள் அளவு வெப்பம் விடுவிக்கப்பெறுகின்றது என்பதை இவ்வாய்பாடு உணர்த்துகின்றது.

பொதுவாக நாம் எல்லா வேதியியல் செயல்களிலும் வெளிவிடப்பெறும் வெப்பத்தின் அளவு ஒரு மோலுக்குக் கிட்டத்தட்ட 106 கிலோ கலோரிகளுக்கு மேற்படுவதில்லை என்று கூறலாம்.

அணுக்கரு இயக்கத்தை வாய்பாட்டால் விளக்குதல்:

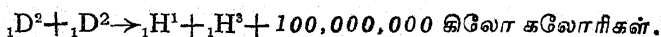
இன்றைய அணுக்கரு பௌதிகத்தில் அடிக்கடி பிரயோகப்படுத்தும் அணுக்கரு இயக்கத்தை வாய்ப்பாட்டின் மூலம் எழுதி விளக்குவோம். டோபல்[3] என்பார் கூறுகின்ற படி இந்த இயக்கத்தை 5—10 கிலோ வோல்ட்டுகள் ஆற்றலைக் கொண்ட சாதாரணக் கால்வாய்க் கதிர்கள்மூலம்

---

2. H_2 – ஹைட்ரஜன்; H_2O - நீர். பின்னர் வருவனவற்றிற்கெல்லாம் இவ்வாறே கொள்க.

3. டோபல் - Dopel.

(Canal rays) விடுவிக்கலாம்; அஃதாவது, இரண்டு ட்யூடெரான்களால் ஏற்படும் பரிமாற்றமுள்ள (Reciprocal) செயலால் இந்நிகழ்ச்சி நடைபெறுகின்றது; இந்தச் செயலில் பொருண்மை - எண் 1 ஐக் கொண்ட ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு ஒன்றும், பொருண்மை - எண் 3 ஐக் கொண்ட ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு ஒன்றும் உண்டாகின்றன. 1 மோலைக் குறிக்கும் இந்த இயக்கத்தின் வாய்பாடு[4] இவ்வாறு அமைகின்றது:

$$_1D^2 + _1D^2 \rightarrow _1H^1 + _1H^3 + 100,000,000 \text{ கிலோ கலோரிகள்.}$$

இதையே சொற்களால் விளக்கலாம்; முதலில் இரண்டு ட்யூடெரான்கள் ஒன்று சேர்கின்றன; ஆனால், அவ்வாறு ஒன்று சேர்ந்து உண்டான அணுக்கரு உடனே மேலே குறிப்பிட்டவாறு இரண்டாகப் பிளவுகின்றது. மோல் ஒன்றுக்கு 100,000,000 கிலோ கலோரிகள் வெப்பம் வெளிவிடப் பெறுவதால், ஆற்றலியலைப் பொறுத்த மட்டிலும் இது மிகவும் சாதகமான செயலாகும். பெரும்பாலான அணுக்கரு இயக்கங்கள் அனைத்திலுமே வெளிவிடப்பெறும் வெப்பத்தின் அளவு இதே நிலையில்தான் உள்ளது. ஆகவே, பேரளவில் அணுக்கரு இயக்கங்கள் உடனே உண்டாக்கப்பெற்றவுடன், அவை எவ்வளவு முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை என்பதை நாம் உணர்கின்றோம். அணுக்கரு இயக்கங்களால் விடுவிக்கப்பெறும் ஆற்றலின் அளவு வேதியியற் செயற்களால் பெறக்கூடிய ஆற்றலின் அளவைப்போல் கிட்டத்தட்ட ஒரு மில்லியன் மடங்கு அதிகமாக இருப்பதைக் காண்கின்றோம். இதையே இன்னொரு விதமாகவும் கூறலாம்: ஒரே அளவுள்ள பொருள் வேதியியல் முறையில் எரிதலால் வெளிவிடும்

---

4. D,H களில் இடப்புறத்தின்கீழே உள்ள எண் அணு-எண் ஆகும்; இது மின்னூட்டத்தைக் குறிக்கும்; வலப்புறத்தின் மேலே எழுதும் எண் அதன் அணு - எடையைக் குறிக்கும்.

ஆற்றலைப்போல் அணுக்கரு 'எரிதலால்' ஒரு மில்லியன் மடங்கு ஆற்றலை விடுவிக்கின்றது.

இயற்கையில், ஓர் ஒழுங்கில், சிறிய அளவில் அணுக்கரு இயக்கங்கள் நிகழ்கின்றன. அவை யாவும் அண்டக்கதிர் வீசலினாலும் கதிரியக்கப் பொருள்களின் கதிர்வீசலாலும் நடைபெறுகின்றன. இந்த இயற்கை நிகழ்ச்சிகளால் விடுவிக்கப் பெறும் ஆற்றல் மிகச் சிறிய அளவில் இருப்பதாலும் அது மிகச் சிதறிய நிலையில் இருப்பதாலும் அதனை நாம் காண்பதே இல்லை.

இயற்கையில் அணுக்கரு இயக்கங்களின் பங்கு:

எனினும், அணுக்கரு இயக்கங்களால் விடுவிக்கப்பெறும் ஆற்றல் இயற்கையில் எவ்வித விளைவினையும் உண்டாக்க வில்லை என்று உரிமை கொள்வது அவ்வளவு சரியல்ல. இதற்கு நேர்மாறாக, நீண்ட காலப்போக்கில் இத்தகைய செயல்களினால்தான் நாம் இப்புவியில் முற்றிலும் நிலைத்து வாழ்கின்றோம் என்று உரிமையுடன் பேசுவதற்குக் காரணம் உள்ளது. ஏனென்றால் முதலாவது, இப்புவியின் மேற்பரப்பிலுள்ள வெப்ப நிலையையும் தட்ப வெப்பநிலையையும் அறுதியிடுவதில் கதிரியக்கம் மிக முக்கிய பங்கு கொள்கின்றது; இரண்டாவது, கதிரவனிடம் இத்தகைய இயக்கங்கள் நடைபெறுவதனால்தான் அது பிரகாசித்து ஏராளமான ஆற்றலைத் தொடர்ந்து வீசிக்கொண்டிருக்கின்றது; அதனால்தான் நம் பூமண்டலத்தில் உயிர்வாழ்க்கையும் நடைபெற்று வருகின்றது.

விண்மீன்களின் அகட்டில் அணுக்கரு இயக்கங்கள்:

விண்மீன்களின் அகட்டில் அணுக்கரு இயக்கங்கள் பேரளவில் நடைபெற்றுக்கொண்டுள்ளன. இந்த அணுக்கரு இயக்கங்களால் உண்டாகும் ஆற்றலைத்தான் விண்மீன்கள்—நம்முடைய கதிரவன் உட்பட—வெட்டவெளியில் வீசிக் கொண்டிருக்கின்றன என்பதை இன்று நாம் அறிவோம்.

இவ்வாறு ஆற்றலை வீசும் மூலம் நீண்டகாலமாக ஒரு புதிராகவே இருந்தது; இதற்குவிடை காண்பதற்கு நீண்டதோர் அறிவுத்திறன் தேவையாக இருந்தது. நம் கதிரவன் இரண்டாயிரம் மிலியன்[5] ஆண்டுகளாகக் கிட்டத்தட்ட இதே உறைப்புடன் ஒளியினை வீசிக்கொண்டிருக்கவேண்டும் என்பதை அறிவோம்; நீண்டகாலத்திற்கு முன்னதாகவே ஏன் கதிரவன் தன்னுடைய ஆற்றல் முழுவதையும்இழக்கவில்லைஎன்பதைப்பற்றி எவரும் புரிந்து கொள்ள இயலவில்லை. இப் பிரச்சினைக்குத் தீர்வு காண்பதற்கு அணுக்கரு பௌதிகத்தை எதிர் நோக்கி இருக்க வேண்டியிருந்தது. இன்று நாம் அதன் காரணத்தைத் திட்டமாக வரையறுத்துக் கூறும் ஒரே ஒரு செயலை அறிந்து கொள்ளும் நிலையில் இருக்கின்றோம். அட்கின்சனும், ஹௌட்டர்மான்ஸும்[6] வி. வெய்ஸேக்கரும்[7], பெத்தேயும்[8] மேற்கொண்ட மூன்று ஆராய்ச்சிகளின் விளைவாக இப்பிரச்சினைக்கு விடை கண்டறியப்பெற்றது. இப்பிரச்சினைக்கு எவ்வாறு விடை கண்டனர் என்பதைப்பற்றியெல்லாம் நாம் இங்கு விவரிக்கப் போவதில்லை; அதன் முடிவை மட்டிலும் கூறினால் போதுமானது. அதற்குரிய விடை ஒன்றோடொன்று தொடர்புடைய ஒரு சில வாய்பாடுகளில் அடங்கியுள்ளது. அந்த வாய்பாடுகள்[9] அடியிற் குறிக்கப்பெறுகின்றன:

(1) ${}_6C^{12} + {}_1H^1 \rightarrow {}_7N^{13}$

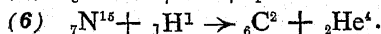
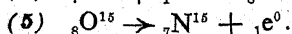
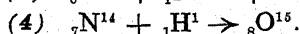
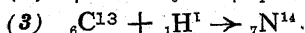
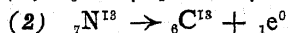
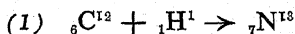
(2) ${}_7N^{13} \rightarrow {}_6C^{13} + {}_1e^0$

(3) ${}_6C^{13} + {}_1H^1 \rightarrow {}_7N^{14}$.

(4) ${}_7N^{14} + {}_1H^1 \rightarrow {}_8O^{15}$.

(5) ${}_8O^{15} \rightarrow {}_7N^{15} + {}_1e^0$.

(6) ${}_7N^{15} + {}_1H^1 \rightarrow {}_6C^{2} + {}_2He^4$.

---

5. ஒரு மிலியன் என்பது பத்து இலட்சம்; ஆயிரமாயிரம்.

6 அட்கின்சனும் ஹௌட்டர்மான்ஸும்—Atkinson and Houtermans.

7 வி. வெய்ஸேக்கர்— V. Weizsacker.

8 பெத்தே—Bethe,

9 N—நைட்ரஜன். ${}_1e^0$-பாசிட்ரான் ${}_1H^1$-புரோட்டான்

இந்தக் கோவைச் சமன்பாடுகளில் புரோட்டான்களால் தூண்டப்பெற்ற இயக்கங்களும் பாசிட்ரான்களால் விடுவிக்கப்பெற்ற உரு மாற்றங்களும் (Transmutations) அடங்கியுள்ளன. இவற்றில் தொடக்கத்திலிருந்த பொருள்கள் பொருண்மை-எண் 12ஐக் கொண்ட கரியும், ஹைட்ரஜனும் ஆகும். விண்மீன்களில் ஏராளமான ஹைட்ரஜன் அடங்கியுள்ளது என்பதும், அவற்றில் கரியும் சிறிய அளவுகளில் உள்ளது என்பதும் நாம் அறிந்த செய்திகளே. ஏற்கெனவே ஹைட்ரஜன் புரோட்டான்களாக உள்ளது; விண்மீன்களின் அகட்டிலுள்ள உயர்ந்த வெப்ப நிலைகளின் காரணமாக (10-20 மில்லியன் சென்டிகிரேட் சுழியுள்ள (Degree) சூடு,) அடைந்த நேர்வேகத்தால், எல்லா ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் தம்மிடமிருந்த கோள்நிலை எலக்ட்ரான்களை இழந்த நிலையில் உள்ளன. அளவற்ற இந்த நேர்வேகம் வேறு அணுக்கருக்களைத் துளைத்துச் செல்வதற்குத் துணையாகவுள்ளது.

சமன்பாடுகளின் விளக்கம்-

ஆகவே, முதலாவதாக சாதாரணக் கரியின் அணுக்கருவிலிருந்தும் ஒரு புரோட்டானிலிருந்தும் ஒரு நைட்ரஜன் அணுக்கரு உண்டாகின்றது (1). இந்த நைட்ரஜன் அணுக்கரு நிலையற்றது; அஃது ஒருபாசிட்ரானை வெளிவிட்டுக் கரியின் அணுக்கருவாக மாறுகின்றது. (2). இவ்வாறு புதிதாகத் தோன்றிய கரியின் அணுக்கரு இச்செயலைத் தொடங்கி வைத்த கரியின் பளுவான ஐசோடோப்பு ஆகும். (இச்செயல் முழுவதும் ஆய்வகச் சோதனைகளாலும் நன்கு அறியப் பெற்றதொன்றே.) இப்பொழுது வேறொரு புரோட்டான் தாக்குதலால் இக்கரியின் அணுக்கரு சாதாரண நைட்ரஜன் அணுக்கருவாக மாறுகின்றது (3). இந்த நைட்ரஜன் அணுக்கரு வேறொரு புரோட்டானை விழுங்கி நிலையற்ற ஆக்ஸிஜன் அணுக்கருவாக மாற்றம் அடைகின்றது (4). இஃது உடனே ஒரு பாசிட்ரானை வெளிவிட்டு முதல் நைட்ரஜன் அணுக்கரு

வின் பளுவான ஐசோடோப்பாக மாறுகின்றது (5). இறுதியாக, இந்தச் செயல் முழுவதும் மற்றும் ஒரு புரோட்டானை விழுங்கப்பெறுவதால் முற்றுவிக்கப்பெறுகின்றது; இப்பொழுது ஒரு ஹீலிய அணுக்கரு (வேறு விதமாகக் கூறினல், ஓர் ஆல்பாத் துகள்) வெளிவிடப்படுவதால் மீண்டும் ஒரு சாதாரணக்கரியின் அணுக்கரு கிடைக்கின்றது.

இயக்கங்களின் இருப்புநிலைக் குறிப்பால் அறிவது :

கோவையாகத் தொடர்ந்து நடைபெறும் இயக்கங்களின் இருப்புநிலைக் குறிப்பால் (Balance sheet) நாம் அறிந்து கொள்வது என்ன? முதலில், கரியின் ஓர் அணுக்கரு ($_6C^{12}$) உள்ளது; அது படிப்படியாக நான்கு புரோட்டான்களைச் சிறைபடுத்துகின்றது. இறுதியில், ஒரு ஹீலிய அணுக்கருவுடன் ($_2He^4$) அதே கரியின் அணுக்கரு ($_6C^{12}$) எஞ்சுகின்றது; இவற்றுடன் 2-ஆவது, 5-ஆவது இயக்கங்களில் வெளிவிடப்பெற்ற இரண்டு பாசிட்ரான்களும் உள்ளன. இந்த 'இருப்புநிலைக் குறிப்பின்' சுருக்கத்தை இவ்வாறு கூறலாம்: நான்கு புரோட்டான்களினின்றும் ஒரு ஹீலிய அணுக்கருவும் இரண்டு பாசிட்ரான்களும் உண்டாகின்றன. ஆகவே, இச்செயலின் நிகர முடிவினை அடியிற்கண்ட சுருக்கமான வாய்பாட்டால் குறிப்பிடலாம்:

$$4\,(_1H^1) \rightarrow {}_2He^4 + 2\,(_1e^0)$$

ஹீலிய அணுக்கருவில் இரண்டு புரோட்டான்களும் இரண்டு நியூட்ரான்களும் அடங்கியுள்ளன; எனவே, அதன் மின்னூட்டம் நான்கு புரோட்டான்களின் மின்னூட்டத்தை விட இரண்டு அலகுகள் குறைவாக உள்ளது. இந்த மின்னூட்ட வேற்றுமை இரண்டு பாசிட்ரான்களின் தோற்றத்திற்குக் காரணமாகின்றது. இவ்வாறு நான்கு புரோட்டான்களில் இரண்டு, நியூட்ரான்களாக மாறிவிடுகின்றன.

புரோட்டான்களின் பொருண்மையும் ஹீலிய அணுக்கருவின் பொருண்மையும் சரியாக அறியப்பெறுமாதலின்

இறுதி வாய்பாட்டின அடிப்படையில் இந்த முழுச் செய லின் நிகர ஆற்றலை அறுதியிடக் கூடும். இத்தகைய செயலில் விடுவிக்கப்பெறும் ஆற்றலின் அளவு 25·5 Mev; இதையே மோல்களுக்குக் கணக்கிட்டு கிலோ கலோரிகளாக மாற்றி ஞல், அது மோல் ஒன்றுக்கு 600,000,000 கலோரிகளாகின் றது. மேற்கூறப்பெற்ற செயலில் உள்ளதற்கு இஃது ஆறு மடங்காகின்றது.

கதிரவனிடமும் விண்மீன்களிடமும் நடைபெறும் செயல்களின் விளக்கம்:

இங்கு நடைபெறுவதைக்கொண்டு கதிரவனிடமும் விண்மீன்களிடமும் நடைபெறும் செயல்களை இவ்வாறு விளக்கலாம்: விண்மீன்களின் அகட்டில், அணுக்கரு 'எரித லால்' ஹைட்ரஜன் ஹீலியமாக மாற்றப்பெறுகின்றது; இந்தச் செயலால் தொடர்ந்து ஏராளமான ஆற்றல் வெளி யாகின்றது. இந்த ஆற்றலைத்தான் கதிரவனும் விண்மீன் களும் கதிர்களாக வீசுகின்றன. சில சமயம் நாம் வேடிக்கை யாக 'கதிரவன் நிலக்கரியால் வெப்பமாக்கப் பெறுகின்றான்' என்று சொல்லுவதுண்டு. ஆனல், இது முற்றிலும் சரியல்ல. இங்கு நிலக்கரி—அஃதாவது, கரி—ஊக்கியாகப் (Catalyst) பங்கு பெறுகின்றதேயன்றி இயக்கத்தில் அது விழுங்கப்பெறு வதில்லை.

தேவையான அளவு பொருள்களில் அணுக்கரு இயக் கங்கள் நடைபெறக் கூடுமானல், அவற்றிலிருந்து விடுவிக்கப் பெறும் ஆற்றல் ஏராளமாக உள்ளது என்பதற்கு இந்த எடுத்துக்காட்டு போதுமானது. ஆயினும், நாம் ஒன்றனை அதிகமாகக் கூறலாம். வயது குறைவாகவுள்ள விண்மீன் களிலிருப்பதைவிட வயது முதிர்ந்த விண்மீன்களில் ஹைட் ரஜன் குறைவாக உள்ளது என்று நம்புவதற்கு நல்லதொரு காரணம் உண்டு. இதனல் ஹைட்ரஜன் படிப்படியாகச்செல விடப்பெறுகின்றது என்ற குறிப்பு புலனுகின்றது.

ஐயத்திற்கு ஒரு விளக்கம்:

நம்மிடம் கிட்டதட்ட பெரிலியம் கலந்த 100 கிராம் ரேடியம் இருப்பதாகக் கொள்வோம். நியூட்ரான்களைத் தருவதற்கு இது மிகவும் ஆற்றல் வாய்ந்த ஒரு மூலப் பொருள். இத்தகைய மூலம் ஒன்று நம்மிடத்திலிருந்தாலும், யுரேனியப் பிளவு கண்டுபிடிக்கப்பெறுவதற்கு முன்பு நம்மால் ஏன் ஆய்வகத்தில் மேற்குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றலை உண்டாக்க முடியவில்லை? சாதாரணமாக ஆய்வகங்களில் கிடைக்கக்கூடிய மூலங்களுடன் ஒப்பிட்டால் இஃது உண்மையில் ஏராளமான அளவுள்ளது. இந்தக் கதிர்வீசல் மூலத்தைக் கொண்டு ஒரு நாள் முழுவதும் சோற்றுப்பைக் (Common salt) கதிரியக்கம் பெறச் செய்தால் 20,000 மில்லியன் குளோரின் அணுக்கள் கதிரியக்கக் கந்தக அணுக்களாக மாற்றப்பெறும். இதுமிகவும் பெரியதொரு எண்ணே; இங்ஙனம் உண்டாக்கப்பெறும் கந்தகமும் மிகத் தீவிரமான கதிரியக்கத்தைப் பெற்றிருக்கும். ஆனால், இவ்வாறு உண்டாகும் கந்தகத்தின் அளவு மிகமிகக் குறைவானது. இதன் அளவு கிட்டத்தட்ட ஒரு மில்லி கிராமின் ஒரு மில்லியனில் ஆயிரத்தில் ஒரு பகுதியாகும்! அதிலிருந்து கிடைக்கும் ஆற்றலின் அளவும் அதற்கேற்றவாறு மிகச் சிறிய அளவாகவே இருக்கும். அஃது ஒரு கிலோ கலோரியில் ஆறு மில்லியனில் ஒரு பங்குதான்!

ஆயினும், இன்று இயங்கி வரும் மிகப் பெரிய சைக்ளோட்ரானைக்கொண்டு நியூட்ரானின் உறைப்பை நாம் வழக்கமாகக் கருதும் மேலெல்லையைவிடக் கிட்டத்தட்ட ஆயிரம் மடங்கு அதிகரிக்கச் செய்யக்கூடும். இந்த உறைப்பு பெரிலியத்துடன் கலந்த 100 கிராம் அளவுள்ள ரேடியத்தைக் கொண்ட நியூட்ரானின் மூலத்திற்குக் கிட்டத்தட்டச் சமமாகின்றது. இதில் பொருளின் அளவும் ஆற்றலின் அளவும் கிட்டத்தட்ட 1000-மடங்காக உள்ளன; அப்படி இருந்தும், அவை மிக மிகச் சிறியனவாகவே உள்ளன. ஆயினும்,

உண்டாகும் ஆற்றலின் அளவு இந்த விளைவினை எய்தும் பொருட்டு சைக்ளோட்ரானை இயக்குவதற்குச் செலவாகும் ஆற்றலின் அளவில் மிகச் சிறிய பின்னமாகும். ஆகவே, உருமாற்றங்களை உண்டாக்கும் இயக்கங்களைத் தாமாக நடைபெறச் செய்தால் மட்டிலும்தான் செய்முறையில் பயன் விளைவிக்கக்கூடிய அணுக்கரு ஆற்றலை உற்பத்தி செய்ய இயலும். அங்ஙனம் தானாக நடைபெறும் ஓர் இயக்கம் மற்றோர் இயக்கத்தினைத் தூண்டுகின்றது; இரண்டாவது இயக்கம் பிறிதொன்றனைத் தூண்டுகின்றது; இவ்வாறு தொடர்ந்து நடைபெறுகின்றது. இறுதியில் வேதியியல் எதிர்வினைகளிலுள்ளதுபோலவே, பெரும்பாலான அணுக்கருக்கள் ஒரு தொடர்நிலை இயக்கமாக உருமாற்றம் அடைகின்றன.

(II) யுரேனியப் பிளவும் தொடர்நிலை இயக்கமும்

யுரேனியப் பிளவு:

1938-ஆம் ஆண்டில் ஹான்,[10] ஸ்ட்ராஸ்மன்[11] என்ற அறிவியலறிஞர்கள் யுரேனிய அணுக்கருவில் பிளவுறும் செயலைக் கண்டறிந்தனர்.[12] இச்செயல் இன்னதென முன்னரே விளக்கப் பெற்றுள்ளது. ஒரு யுரேனிய அணுக்கரு ஒரு நியூட்ரானைக் கொண்டு தாக்கப்பெறுகின்றது; அதனால் அக்கரு கிட்டத்தட்ட இரண்டு சமபாகங்களாகப் பிளவுறுகின்றது; பெரும்பாலானவற்றில் பல நியூட்ரான்கள் சுழற்றி வீசி எறியப்பெறுகின்றன. இந்த இயக்கம் மேற்சென்ற பத்தியின் இறுதியில் குறிப்பிடப்பெற்ற தொடர்நிலை இயக்கம் உண்டாவதற்குக் காரணமாக இருப்பதால் இது 'நியூக்கிளியானிக்ஸ்' (Neucleonics) என்ற நவீன அறிவியல் துறைக்கு அடிப்படையாக அமைகின்றது.

---

10. ஹான் - Hahn.
11. ஸ்ட்ராஸ்மன் - Strassman.
12. ஆறும் இயலில் காண்க.

இனி, 'அணுக்கரு பிளவுறுதல்' என்றசெயலின் இன்னும் ஒரு சில விவரங்களைக் காண்போம். அச்செயல் ஏராளமான ஆற்றலை விடுவிக்கின்றது; இன்னொரு விதமாகக் கூறினால், அணுக்கருவின் இரண்டு சில்லுகளும் அளவுகடந்த நேர்வேகத்துடன் சுழற்றி வீசியெறியப்பெறுகின்றன. இந்த ஆற்றல்—ஒரு பிளவுறுதலுக்கு ஏறத்தாழ 150 Mev வீதம்—துண்டங்களின் நேர்வேகத்தை அளந்து அனுபவபூர்வமான முறையில் (Empirically) அறுதியிடப்பெறலாம்; அல்லது பொருண்மைக் குறையை உணர்த்தும் வாய்பாட்டிலிருந்தும் கணக்கிடலாம்.[13] இஃது ஓர் அனல் விடு (Exothermic) வகைச் செயல்[14] ஆதலின், இது நியூட்ரான்களால் அணுக்கருதாக்கப் பெறுமலேயே நிகழ்தல்கூடும். ஆனல், தானாக அணுக்கரு பிளவுறுதல் என்பது மிக அரியதொரு நிகழ்ச்சி; எனவே, அது தொழில் முறையில் சிறிதும் முக்கியத்துவம் பெறவில்லை.

ஆவர்த்த அட்டவணையின் (அட்டவணை—III.) இறுதியிலுள்ள பல்வேறு தனிமங்களிலும் நியூட்ரான்களைக் கொண்டு அணுக்கரு தாக்குதல் ஏறத்தாழ எளிதாக அணுக்கருப் பிளவினை உண்டாக்க வல்லது. சில அணுக்கருக்கள் மெதுவாகஇயங்கும்நியூட்ரான்களால்,அஃதாவதுவெப்ப நேர்வேகங்கொண்ட நியூட்ரான்களால், பிளவுறச் செய்யப்பெறலாம். இவற்றுள் ஒவ்வொரு அணுக்கருவும் ஒற்றைப்படைப் பொருண்மை-எண்ணைக்கொண்டது. யுரேனிய அணுக்கருவும் ($_{92}U^{235}$) புளுட்டோனியம் என்ற தனிமத்தின் அணுக்கருவும் இதற்கு விதிவிலக்கு: இதுபற்றிய செய்தி பின்னர் ஆராயப் பெறும். இந்த இரண்டு அணுக்கருக்களிலும் ஒரு நியூட்ரான் சிறையிடப்பெறுதலில் பிணைந்துள்ள சிறிய அளவு வெப்பம் பிளவினை உண்டாக்கப் போதுமானது. அதற்கு மாறாக, அதிக நேர்வேகத்தைக்கொண்ட நியூட்ரான்களால்

---

13. இந்நூல் - பக்கம் 115 காண்க.

14. அனல் விடுவகைச் செயல் - இச்செயல் நிகழுங்கால் வெப்பம் வெளியிடப் பெறுதல்.

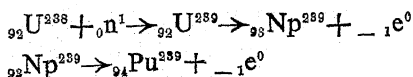
மட்டிலும் பிளவுறக்கூடிய வேறு அணுக்கருக்களும் உள்ளன; இதற்கு எடுத்துக்காட்டு யுரேனிய அணுக்கரு ($_{92}U^{238}$). இதனைப் பிளவுறச் செய்வதற்குக் குறைந்தது 1Mev யைக் கொண்ட நியூட்ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன. கடந்த சில ஆண்டுகளில்கலிஃபோர்னியாவிலுள்ள[15] மிகப்பெரியசைக்ளோட்ரானைக்கொண்டு செய்யப்பெற்ற அமெரிக்கச் சோதனைகள் 30 Mev-க்கு மேற்பட்ட வேகத்தைக்கொண்ட நியூட்ரான்களைக் (அல்லது வேறு அணுக்கரு 'எறிபொருளைக்') கொண்டு ஆவர்த்த அட்டவணையில் வெள்ளீயத்திற்குக் கீழுள்ள தனிமங்களின் அணுக்கருக்களிலும் பிளவினை உண்டாக்கலாம் என்று காட்டியுள்ளன.

பின்னால் கூறிய வகைகளின் அணுக்கருக்கள் மெதுவான நியூட்ரான்களைக்கொண்டு தாக்கப்பெற்றால், அந்த நியூட்ரான்களின் ஆற்றல் பிளவினை நிகழ்த்தப் போதாதாகலின், அவை அந்த அணுக்கருக்களினின்றும் திருப்பியனுப்பப் பெறும் (பெரும்பாலும் நேர் வேக இழப்புடன்); அல்லது சிறையிடம் பெறும்[16] இதற்கு எடுத்துக்காட்டு யுரேனியம் அணுக்கரு($_{92}U^{238}$)ஆகும். இது ஒரு நியூட்ரானைச் சிறையிட்டுக் கொண்டு $_{92}U^{239}$ அணுக்கருவாக மாறுகின்றது; இப்புதிய அணுக்கரு சிறிது நேரத்தில் தானாகவே ஓர் எலக்ட்ரானை (பீட்டாக்கதிர்) வெளிவிட்டுக் கொண்டு $_{93}Np^{239}$ (நெப்டியூனியம்) ஆகவும், $_{94}Pu^{239}$ (புளூட்டோனியம்) ஆகவும் மாறுகின்றது. இந்த அணுக்கருக்களின் தன்மைகளை ஆராய்ந்த அமெரிக்க அறிவியலறிஞர்கள் 93, 94-ஆவது தனிமங்களுக்கு முறையே நெப்டியூனியம், புளூட்டோனியம் பெயர்களை இட்டனர். இங்குக் கூறிய இயக்கங்கள்[17] அடியிற்கண்டவாறு குறிப்பிடப்பெறுகின்றன:

---

15. கலிஃபோர்னியா - California.
16. இந்நூல்-பக்கம் 143 காண்க.
17. $_0n^1$ நியூட்ரான். $_{-1}e^0$–எலக்ட்ரான்.

$$_{92}U^{238} + _0n^1 \rightarrow _{92}U^{239} \rightarrow _{93}Np^{239} + _{-1}e^0$$

$$_{93}Np^{239} \rightarrow _{94}Pu^{239} + _{-1}e^0$$

இவ்வாறு உண்டான புளூட்டோனிய அணுக்கரு ($_{94}PU^{239}$) ஓர் ஆல்பாத்துகளினை வெளிவிட்டு யுரேனியமாக ($_{92}U^{235}$) மாறுகின்றது; இஃது அரிதாக நடைபெறும் ஓர் இயக்கமாகும். இந்தப் புளூட்டோனியத்தின் அரை வாழ்வு 24,000 ஆண்டுகளாகும். ஏற்கெனவே விளக்கியதுபோல, ($_{92}U^{238}$) என்ற அணுக்கரு நியூட்ரான்களைச் சிறையிடுதல் போல, அணுக்கரு நியூட்ரான்களைச் சிறையிடுதல் ஓர் இயக்கமாகும்; இச்செயல் நியூட்ரானின் ஆற்றல் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு மதிப்புக்களைப் பெற்றிருந்தால்மட்டிலுந்தான் பெரும்பாலும் நிகழும்; இதில் உட்புகும் நியூட்ரானின் அலை அணுக்கருவிலுள்ள அதிர்வுகளுடன் அநு-நாதமாக (Resonance) இணைந்து அதிர்வினை உண்டாக்கும்.

தொடர்நிலை இயக்கம்

பிளவுறும் செயலில் ஒரு நியதிப்படி ஒரு சில நியூட்ரான்கள் அணுக்கருவிலிருந்து சுழற்றி வீசியெறியப்பெறுகின்றன; எடுத்துக்காட்டாக $_{92}U^{235}$ என்ற அணுக்கருவில் இரண்டு அல்லது மூன்று நியூட்ரான்கள் வெளிவிடப் பெறுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சி முதன் முதலாக 1939-இல் ஜோலியட்[18] என்பாரால் சரி பார்க்கப்பெற்றது; இது தொழிற்முறையில் அணுக்கரு ஆற்றலைப் பெறத் தேவையான தொடர்நிலை இயக்கத்தினை உண்டாக்குகின்றது. எடுத்துக்காட்டாக, ஓரளவுக்கு அதிகமான தூய்மையான யுரேனியத்தில் ($_{92}U^{235}$) தொடர்நிலை இயக்கம் நடைபெற்றால், அதிலிருந்து விடுவிக்கப்பெறும் நியூட்ரான்கள் வேறு $_{92}U^{235}$-இன் அணுக்கருக்களைத் தாக்கி அவற்றில் பிளவுறும் செயலை நிகழ்த்தி இன்னும் அதிகமான நியூட்ரான்களை விடுவிக்கின்றன; இந்த

18. ஜோலியோ-Joliot.

நியூட்ரான்கள் மேலும் உள்ள யுரேனிய அணுக்களைப் பிள வுறச் செய்ய, இவ்வாறு இறுதியாக யுரேனியம் முழுவதும் பிளவடைந்து ஏராளமான ஆற்றல் விடுவிக்கப்பெறு கின்றது. நியூட்ரான்களின் பெருத்த நேர் வேகத்தினால் இச் செயல் முழுவதும் ஒரு வினாடியில் ஒரு மில்லியனில் ஒரு பங்கு நேரத்திற்குள் நடைபெறுகின்றது. ஆகவே, தேவையான அளவு தூய்மையான $_{92}U^{235}$ மோ (அல்லது தேவையான அளவு தூய்மையான $_{94}Pu^{239}$ மோ) கற்பனையிலும் எண்ண முடியாத வெடிக்கும் ஆற்றலுள்ள வெடி பொருள் என்பது வெளிப்படை. அணுக்குண்டுகள் இந்தப் பொருள்களைக் கொண்டுதான் செய்யப்பெறுகின்றன. அக்குண்டுகளின் அழிக்கும் ஆற்றல் யாவரும் அறிந்ததே. எனவே, ஒரு தொடர்நிலை இயக்கம் நிகழ்வதற்குரிய. வெடிபொருளின் (Explosive) அளவு ஒருபோதுமான அளவு[19] அதிகமாகவே இருக்க வேண்டும்; இந்த அளவுக்குக் குறைவாக இருந்தால், விடு விக்கப்பெறும் நியூட்ரான்கள் வேறு அணுக்கருக்களிடம் பிளவு நிகழ்த்துவதற்கு முன்னமேயே மேற்பரப்பின்மூல மாகத் தப்பியோடிவிடும். ஆகவே, மேற்கூறப்பெற்ற 'வெடிபொருள்' குறைந்தஅளவாக இருந்தால்அது முற்றிலும் தீங்கற்றதாக உள்ளது. ஆயினும், அப்பொருள்களின் அளவு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவைத் தாண்டியதும் வெடித்தல் திடீ ரென்று நிகழ்கின்றது; அது தானாகவும் நடைபெறுகின்றது. ஆகவே, பலசிறிய அளவுகளில் உள்ள 'வெடி பொருள்' ஒன்று சேர்க்கப்பெற்றுப் பெரிய அளவாகச் செய்யப்பெற்று அணு வெடித்தல் தொடங்கப் பெறுகின்றது; இவ்வாறு பெரிதாக அமைந்த பகுதியே உடனே வெடிக்கின்றது.

---

19. பொருளின் இந்த அளவைத் 'தறுவாய் நிறை' (Critical mass) என்று வழங்குவர்.

அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளின் திறன்:

ஒப்பன்ஹீமர்[20] என்பார்தான் அமெரிக்காவில் அணு குண்டு அமைப்பதில் பங்குகொண்ட அறிவியல் தலைவர்; தேவையான வடிவத்தில் அந்த அளவு 'வெடி பொருள்களை'-—அஃதாவது $_{92}U^{235}$யையும் $_{94}Pu^{239}$யையும்—உற்பத்தி செய்வதற்கு மிக உயர்ந்த தொழில்துறை முயற்சி வேண்டும்; அத்தகைய முயற்சியில் ஈடுபடுவதற்கு விரிந்த தொழில்துறைத் திறனைக்கொண்ட அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளால் மட்டிலும் தான் சாத்தியமாகும். ஜெர்மெனியில் அப்பொருள்களின் உற்பத்தி போர்க்காலத்தில் மேற்கொள்ளப்பெறவில்லை; ஏனெனில், ஏற்கெனவே மிகவும் அளவுக்குமீறிய பளுவைத் தாங்கிக்கொண்டு நிற்கும் அந்நாட்டின் திறன் அதற்குப் போதுமானதாக இல்லை.*

(III) யுரேனிய அணு உலை

வெடி பொருள்களை உற்பத்தி செய்வதைவிட அணுக்கரு வாற்றலை ஆக்கவேலைக்குப் பயன்படுத்துவதுதான் மிகவும் முக்கியமானது. இந்த ஆற்றலை ஆக்கவேலைக்குப் பயன்படுத்த வேண்டுமாயின், கட்டுப்பாட்டிற்குட்பட்ட ஒரு தொடர்நிலை இயக்கத்தை உண்டாக்கவேண்டியது மிகவும் இன்றியமையாதது; இதனால் ஒரு குறிப்பிட்ட சந்தர்ப்பத்தில் தேவைக்கு வேண்டிய சரியான ஆற்றலை எடுத்துக்கொள்வதற்கு வசதியாகின்றது. நற்பேற்றின் காரணமாக, அத்தகைய ஒரு தொடர்நிலை இயக்கத்தை இயற்கையாகக் கிடைக்கும் யுரேனியத்திலிருந்து உண்டாக்குவது சாத்தியமாகின்றது; இயற்கை யுரேனியத்தில் யுரேனியத்தின் $_{92}U^{238}$, $_{92}U^{235}$ என்ற இரண்டு ஐசோடோப்புகள் முறையே 140 : 1 என்ற விகிதத்

20. ஒப்பன்ஹீமர்-Oppenheimer.

*இதற்குரிய விவரங்களுக்கு பின்னிணைப்பு-I லுள்ள அறிக்கையில் காண்க.

தில் கலந்துகிடக்கின்றன; அதை முதலில் அரிதான $_{92}U^{235}$ ஐ அதிகமாகச் சேர்த்துப் புதிய கலவையாக்கவேண்டிய அவசியம் இல்லை.

தொடர்நிலை இயக்கம் நடைபெறும் விதம்:

எனினும், ஒரு தொடர்நிலை இயக்கம் தூய்மையான யுரேனிய உலோகத்தில் நடைபெறுவதில்லை; ஏனெனில், பிளவுறும் செயலில் வெளிவிடப்பெறும் நியூட்ரான்கள் $_{92}U^{235}$ அணுக்கருக்களுடன் மோதுவதைவிட $_{92}U^{238}$ அணுக்கருக்களுடன்தான் அடிக்கடி மோதுகின்றன. கிரமமாக, அவை நேர்வேகத்தில் யாதொரு இழப்புமின்றி $_{92}U^{238}$ அணுக்கருக்களால் திருப்பியனுப்பப் பெற்றுத் தம்முடன் அநு-நாதமாக (Resonance) அமையும் இந்த அணுக்கருக்கள் ஒன்றனல் சிறையிடப்பெறுகின்றன; இதனுல் அவை தொடர்நிலை இயக்கத்தில் பங்கு பெருமல் இழக்கப்பெறுகின்றன. ஆனுல், யுரேனியத் துண்டுகளை நியூட்ரான்களின் வேகத்தைக் குறைக்கக்கூடிய 'தணிப்பான்' (Moderator) என வழங்கும் ஒரு பொருளினுள் அடக்கி அமைக்கக் கூடும். இந்த அமைப்பு நியூட்ரான்களின் அநுநாத அளவுகளைக் கடந்த நிலையில் கொண்டுசென்று அவற்றின் வேகத்தை வெப்ப நேர்வேகத்திற்குக் குறைத்துவிடுகின்றது. ஆனுல், $_{92}U^{235}$ இன் அணுக்கருக்கள் மிகக் குறைவாக இருந்தபோதிலும், வெப்ப நியூட்ரான்கள் $_{92}U^{238}$ அணுக்கருக்களைவிட $_{92}U^{235}$ அணுக்கருக்களால் மிக எளிதாகச் சிறையிடப் பெறுகின்றன; கிரமப்படி, அவை $_{92}U^{235}$ அணுக்கருக்களில் பிளவுறுதலை உண்டாக்குகின்றன. $_{92}U^{238}$ அணுக்கருக்கள் நியூட்ரான்களைச் சிறையிடச் செய்யாதிருத்தலே தணிப்பானின் பயனுக அமைகின்றது. தணிப்பானுகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பெறும் பொருள் மிகக் குறைந்த அளவில் நியூட்ரான்களை உட்கவருமாறு அமைந்து, கருவியும் நியூட்ரான்கள் $_{92}U^{235}$ அணுக்கருக்களுடன் செயற்படுவதற்குமுன் அதிகமான அளவில் மேற்பரப்பின் மூலம் தப்பிப்போகாத நிலையில் தேவையான வடி

வில் அமைந்து அவற்றைத் தடுத்து நிறுத்தினால், ஒரு தொடர் நிலை இயக்கம் தொடங்கப்பெறக்கூடும். வெப்ப நியூட்ரான்களை உட்கவரும் குணகம் மிகக் குறைவாகவுள்ள கன-நீரும் (D_2O)[21] மிகத் தூய்மையான பென்சில்கரியும் (Graphite) நடைமுறையில் தணிப்பான்களாக அமைவதற்கு ஏற்ற பொருள்களாகும்: யுரேனியத்துண்டுகளையும் கன-நீரையும் கொண்டு அமைக்கப்பெற்ற ஒரு யுரேனிய அணு உலையில்[22] அடியிற் குறிப்பிடப்பெறும் தொடர்நிலை இயக்கம் நடைபெறுகின்றது; யுரேனியப் பிளவிலிருந்து ஒரு நியூட்ரான் விடுவிக்கப்பெற்றதும் அது யுரேனியத்துண்டை விட்டு—யுரேனிய அணுக்களுடன் சில மோதுதல்களை நிகழ்த்திய பிறகே—கன-நீரை அடைகின்றது. அங்கு அது ட்யூடெரான்களுடன் மோதுதலால், தன் நேர் வேகத்தை இழக்கின்றது; அது மீண்டும் ஒரு யுரேனியத் துண்டுடன் மோத நேரிடும்வரையிலும் வெப்ப நேர்வேகத்துடன் தணிப்பானில் சுற்றி அலைகின்றது. அங்கும் அணுக்கருவில் புதிய ஒரு பிளவினை உண்டாக்கி அதன் விளைவாக இரண்டு அல்லது மூன்று நியூட்ரான்களை விடுவிக்கின்றது; இவ்வாறு தொடர்ந்து நடைபெறுகின்றது. அணுக்குண்டில் தொடர்நிலை இயக்கம் விரைவான நேர் வேகத்தையுடைய நியூட்ரான்களால் தூண்டப்பெறச் செய்யும்பொழுது, அவற்றின் நேர் வேகம் துவள்நிலையற்ற மோதுதல்களால் (Inelastic collisions) தம்முடைய தொடக்க வேகத்தைக்காட்டிலும் மிகச்சிறிய அளவில்தான் குறைக்கப்பெறுகின்றது; ஆனால் யுரேனிய அணு உலையில் தொடர்நிலை இயக்கம் மெதுவான வேகத்தையுடைய நியூட்ரான்களாலேயே பரப்பப்பெறுகின்றது.

தொடர்நிலை இயக்கத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் விதம்:

இந்தத் தொடர்நிலை இயக்கத்தை எளிதாகக் கட்டுப்படுத்தித் தக்கமுறையில் கொண்டுசெலுத்தலாம். யுரேனிய அணுக்

---

21 D_2-கனஹைட்ரஜன். D_2O- கன-நீர்

22 அணு உலை என்பது, யுரேனியமும் ஒரு தணிப்பானும் கொண்ட கருவியின் பெயர்.

கள் சிதைந்தழிதலால் யுரேனியம் வெப்பமாக்கப் பெறுகின்றது. இதன் விளைவாக $_{25}U^{238}$-இன் அநுநாதக்கூறுகள் விரிவடைகின்றன; ஆகவே, இந்த அணுக்கருக்களால் அதிகமான எண்ணிக்கையில் நியூட்ரான்கள் சிறையிடப்பெறுகின்றன. இந்நிலையில் வெப்பமாக்குதல் தானாகவே தொடர்நிலை இயக்கத்தை நிறுத்திவிடுகின்றது; இதனால் கருவி முழுதும் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் நிலைக்கச் செய்யப்பெறுகின்றது; இந்த வெப்ப நிலையின் அளவு கருவியின் பருமன், வடிவ அமைப்பு ஆகியவற்றைப் பொறுத்துள்ளது. அன்றியும் வெளியிலிருந்து அணு உலையினுள் நியூட்ரான்களை விழுங்கக் கூடிய ஏதாவது ஒரு பொருளை (காட்மியம் என்றபொருள் இதற்கு மிகவும் தகுதியானது) நுழையச்செய்வது சாத்தியப் படக்கூடியது; இதன்காரணமாக, இப்பொருள் இன்னொரு கூட்டுத்தணிப்பானகச் செயற்பட்டுச் செய்கை முறையில் வெப்பநிலையையும் கட்டுப்படுத்தும். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையை எய்தியதும் அணு உலையிலிருந்து ஆற்றல் நீக்கப் பெற்றாலும்கூட வெப்பநிலை அதே குறிப்பிட்ட நிலையிலேயே இருக்குமாறு அணு உலை தானாகவே நிலைபெறச்செய்து கொள்ளும். ஏராளமான அளவு ஆற்றல் நீக்கப்பெற்றுவிட்டால்—எடுத்துக்காட்டாக நல்ல வெப்பம் கடத்தும் தன்மையின் விளைவாக—அணு உலை உடனே சிறிதளவு குளிர்ந்துவிடுகின்றது. சிதைந்தழியும் செயல்களின் அதிர்வு-எண் உடனே பேரளவில் அதிகமாகின்றது; தொடக்க வெப்பநிலையே மீண்டும் நிலை நிறுத்தப்பெறுகின்றது.

படவிளக்கம்:

படம் - 40-A என்பது யுரேனியத்தையும் கன - நீரையும் கொண்ட அணு உலையின் உட்புற அமைப்பைக் காட்டுகின்றது. போர்க்காலத்தில் இஃது இயற்கையிலுள்ள பாறையில் குடைந்தெடுக்கப்பெற்ற நிலவறை ஒன்றில் நிறுவப் பெற்றது. உர்ட்டெம்பெர்க்[23] கைச் சேர்ந்த ஹைகர்லாச்[24]

23. உர்ட் டெம்பர்க் - Wurttemberg.
24. ஹைகர் லாச் - Haiger loch.

என்ற சிற்றூரில் கெய்ஸர் வில்ஹெம் ஆராய்ச்சி நிலையத்தைச்[25] சார்ந்த வர்ட்ஸ்[26], பாப்[27], பிஷர்[28], ஜென்ஸன்[29], ரிட்டர்[30] ஆகியோர் அடங்கிய ஆய்வாளர்களின் குழு இதனை நிறுவியது. கன - நீரைக் கொண்ட தொட்டியில் இறக்கக் கூடியவாறு ஒரு மூடியிலிருந்து சங்கிலிகளில் தொங்கவிடப் பெற்ற ஏராளமான யுரேனிய உலோக வட்டத்தகடுகளை (Disks) இவ்வொளிப் படம் காட்டுகின்றது. தொட்டியே தடித்த பென்சில் கரி அடுக்கினால் மூடப்பெற்றுள்ளது; இந்தப் படத்தில் அவ்வடுக்கு சரியாகப் புலனாகவில்லை. படம்-40-B என்பது, யுரேனிய அணுஉலையின் ஓர் அமைப்பு முறை விளக்கப்படமாகும்; அதில் நிழலிட்டபகுதி பென்சில் கரிப் பூச்சினைக் குறிக்கின்றது. இந்தக் கருவி முழுவதும் ஒரு பெரிய நீர்த்தொட்டியில் அமைக்கப்பெற்றிருந்தது. நடுவில் நியூட்ரானின் மூலம் ஒன்று தொங்கிக்கொண்டிருப்பதைப் பார்க்கலாம்; அளக்கும் லீடுகள் (Leads) (S) வெளிப்புற ஓரத்தில் பிணைக்கப்பெற்றுள்ளன. இப்பொழுதும் இந்தக் கருவி தனித்த நிலையில் தொடர்நிலை இயக்கத்தைத் தாங்குவதற்கு ஓரளவு சிறிதாகவே இருந்தது; ஆனால், அதன் பருமனைச் சற்றுப் பெரிதாக்கினால், ஆற்றல் உற்பத்திச் செயலைத் தொடங்குவதற்கு அது போதுமானதாக இருக்கும்.

1942-ஆம் ஆண்டில் ஃபெர்மியின்[31] மேற்பார்வையில் சிகாகோ நகரில் ஆற்றலை உற்பத்தி செய்வதற்கேற்றவாறு பெரிய அளவில் முதல் யுரேனியம் அணு உலை நிறுவப் பெற்றது. அது யுரேனியத்தையும் பென்சில் கரியையும் கொண்டு அமைக்கப்பெற்று 1942-ஆம் ஆண்டு திசம்பர் மாதம் இயங்கத் தொடங்கியது.

---

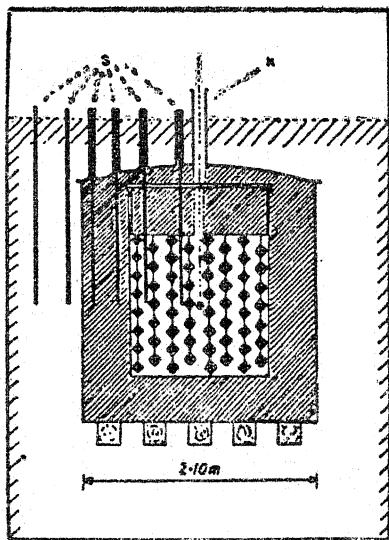
25. கெய்ஸர் வில்ஹெம் ஆராய்ச்சி நிலையம் - Kaiser Wilhelm Institute.

26. வர்ட்ஸ் - Wirtz. 27. பாப் - Bopp.

28. பிஷர் - Fiscer. 29. ஜென்பென் - Jensen.

30. ரிட்டர் - Ritter.

31. ஃபெர்மி - Fermi.

தொடர்நிலை இயக்கம் நிகழத் தொடங்கியதும் யுரேனிய அடுக்கு[32] வெப்ப வடிவத்தில் அணுக்கரு வாற்றலைத் தருகின்றது; அஃதாவது, அடுக்கிலுள்ள யுரேனியம் 'வெப்ப நிலை'யை அடைகின்றது. இந்த ஆற்றலைத் தொழில் முறையில் பயன்படுத்த விரும்பினால், ஏதாவது ஒரு வழியில் இந்த

படம் - 40B: யுரேனிய அடுக்கின் ஏற்பாட்டினைக் காட்டுவது.

வெப்பத்தினை அகற்றுதல் வேண்டும். இதில் பல தொழில் துறைப் பிரச்சினைகள் எழுகின்றன; அணுக்கருவாற்றலின் அடிப்படையில் மிகச் சிக்கனமான முறையில் ஓர் ஆற்றல் நிலையம் நிறுவுவதற்கேற்றவாறு இப்பிரச்சினைகளுக்கு இன்னும் தீர்வு காணப்பெறவில்லை. ஆனால், காலப்போக்கில்

---

32. யுரேனிய அடுக்கு என்பது அணுக்கருக்களைப் பிளக்க உதவும் ஒரு சாதனம்.

இவற்றிற்கு ஒரு வழி பிறக்கும்; மிக விரைவாகவோ அன்றி தாமதித்தோ ஆற்றல் நிலையங்கள் நிறுவப்பெறும். அணுக்கருவாற்றலால் இயக்கப்பெறும் மின் ஆற்றல் உற்பத்தி நிலையங்களும், வெப்பத்தினைக் கடத்தும் நிலையங்களும், கப்பல் பொறிகளும் தோன்றும் நாள் வெகு தொலைவில் இல்லை என்றே சொல்லலாம்.

யுரேனிய அணு உலை-ஆற்றல் மூலம்:

யுரேனிய அணு உலையின் ஒரு சிறப்புக் கூறு அதனை ஆற்றலின் மூலமாகப் பயன்படுத்துவதில் சங்கடத்தை விளைவிக்கின்றது; ஆனால் அதற்கு மாறாக, வேறொரு விதத்தில் அந்தக் கூறு அதனை மிகவும் பயனுடையதாக்குகின்றது; யுரேனிய அணு உலை முழுவதும் மிகப் பேராற்றல் வாய்ந்த தீவிரமான கதிரியக்கமுள்ள கதிர்வீசலினால் நிரப்பப்பெறுகின்றது; இஃது அணு உலையின் அருகிலுள்ள உயிர் வாழ் பிராணிகளுக்கு மிகவும் பேராபத்தினை விளைவிக்கக் கூடியது. இக்காரணத்தால் இந்த அணுஉலைக்குப் பல மீட்டர் பருமனுள்ள கப்பிச் சுவர்கள் (Concrete walls) அல்லது அது போன்ற பொருளால் ஆன சுவர்கள் காப்புறையாக எழுப்பப் பெறுகின்றன. இத்தகைய கதிர்வீசல்களின் தோற்றத்திற்குரிய காரணம் வெளிப்படை: யுரேனிய அணு உலையின் உட்பகுதிதான் பெருத்த அளவில் அணுக்கரு இயக்கங்களின் களமாக அமைந்துள்ளது; இந்த இயக்கங்கள் எல்லாவிதக் கதிர் வீசல்களையும் விளைவிக்கின்றன (ஆல்பா-, பீட்டா-, காமாக் கதிர்வீசல்கள்). சிறப்பாக அணுஉலையில் மிகப் பேரளவிலுள்ள நியூட்ரான்களின் உறைப்பின் பயன் யாதெனில் அந்தக் கருவியில் செருகப்பெறும் பொருள்கள் யாவும் நாம் ஆறும் சொற்பொழிவில் 4-வது பகுதியில் குறிப்பிட்ட செயல்களினால் விரைவில் கதிரியக்கமுடையவைகளாய் விடுகின்றன. எனவே, யுரேனிய அணுஉலையை செயற்கை முறையில் கதிரியக்கப் பொருள்களை உண்டாக்கும் திறமையான 'புடக்குகை'(Crucible) யாகப் பயன்படுத்திக் கொள்ள

லாம். உண்மையாவே, அது தொழில்துறை முறையில் இது காறும் யுரேனிய அடுக்கின் மிக முக்கியமான செயல் முறையாக இருந்து வருகின்றது. எடுத்துக்காட்டாக, போர்த் துறைப் பயன்களில் மிக முக்கிய 'வெடி பொருள்'களாக (Explosives) இருந்துவரும் புளூட்டோனியம் யுரேனிய அணு உலையில் உற்பத்தி செய்யப்பெறுகின்றது. ஆற்றலை உற்பத்தி செய்யும் பிரச்சினைக்கு அடுத்தபடியாக, இது நியூக்ளியானிக்ஸின் இரண்டாவது பெரும் பிரச்சினைக்குக் கொண்டு செலுத்துகின்றது; இப்பிரச்சினையை நாம் 'தாழ்ந்த பொருளை உயர்ந்த பொருளாக்குதல்' ('Ennoblement of matter') என்று குறிப்பிடலாம்.

(IV) அணுக்கரு இயக்கங்களால் தாழ்ந்த பொருளை உயர்ந்த பொருளாக்குதல்

செயற்கை முறையில் கதிரியக்கப் பொருள்களின் உற்பத்தி:

குறைந்த மதிப்புடையபொருள்களினின்றும் அதிக மதிப்புடையபொருள்களை உற்பத்திசெய்தல் வேண்டும். அணுக்கரு இயக்கங்களால் புதிய பொருள்களை மிகச் சிறிய அளவுகளில் மாத்திரமே உண்டாக்குதல் கூடும். ஆகவே, அப்பொருள்கள் மிகச்சிறந்த முறையில் மதிப்புடையனவாக இருந்தால்தான் அவற்றின் உற்பத்தி மேற்கொள்ளப்பெறத் தக்கதாக இருக்கும். மிகச் சிறிய அளவுகளிலும் மிக விலையுயர்ந்த இந்தப் பொருள்கள் கதிரியக்கமுள்ள பொருள்களே. இவற்றின் மதிப்பு இவற்றின் கதிர்வீசலைப் பொறுத்துள்ளது; அக் கதிர்வீசல் பல வழிகளில் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றது; இந்தப் பொருள்களின் அளவு மிகக் குறைவாக இருப்பினும் கூட அவை தரும் கதிர்வீசல் மிக அதிகமாகவே இருக்கும். இக்காரணத்தால் இக்காலத்தில் அணுக்கருப் பௌதிகத்தின் மிக மிக முக்கியமான பிரயோகம் கதிரியக்கப் பொருள்களைச்

செயற்கை முறையில் உற்பத்தி செய்வதில் அடங்கி யுள்ளது.

மருத்துவத்தில் கதிரியக்கப் பொருள்கள்:

கதிரியக்கமுள்ள பொருள்கள் பல்வேறு செயல்களில் பயன் படுத்தப்பெறுகின்றன. அவை மருத்துவத்தில் பல ஆண்டு களாக மூளையிலுண்டாகும் கடுமையான கழலையின் மீது கதிர்வீசல் பாய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்பெற்று வருகின் றன. இந்த அனுபவத்தால் கழலைகள் நன்னிலையிலுள்ள இழையத்தை (Tissue) விட கதிர்வீசலினால் மிகவும் தீவிர மாகக் கேடுறுகின்றன என்பது மெய்ப்பிக்கப்பெற்றுள்ளது. பெரும்பான்மையான சந்தர்ப்பங்களில் எக்ஸ் கதிர்கள்தாம் இச்செயலுக்குப் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன. ஆனால், ஒரு சிக்கலான நிலை ஏற்பட்டு அதனால் ஏனைய இழையத்திற்குத் தீங்கு பயக்காமல் நோயுற்ற இடத்தை அணுகுவது கடின மாக இருந்தால், கதிரியக்கப் பொருளைப் பயன்படுத்தும் முறை மேற்கொள்ளப்பெறுகின்றது. எனினும், இயற்கை யான கதிரியக்கமுள்ள பொருள்கள் மருத்துவச் செயல் களுக்கு மிகக் கட்டுப்பாடான அளவுகளில் மட்டிலும் கிடைப் பதால்—ரேடியத்தைத் தவிர ஓ. ஹான்[33] என்பாரால் கண்டு பிடிக்கப்பெற்ற மெஸோதோரியம் (Mesothoriam) மட்டிலும் நம் கவனத்திற்கு வருகின்றது—தேவைக்கு வேண்டிய அளவு களில் செயற்கை முறையில் கதிரியக்கப் பொருள்களை உற் பத்தி செய்து மருத்துவ ஆராய்ச்சியில் முக்கியமான முன் னேற்றத்தை அடையலாம் என்று எதிர்பார்க்கப்பெறு கின்றது; சிறப்பாக, இயற்கையில் கிடைக்கும் கதிரியக்கப் பொருள்கள் கொண்டுள்ள வேதியியற் பண்புகளிலிருந்து வேறான பண்புகளைக் கொண்ட பொருள்களை உற்பத்தி செய்வது குறிப்பிடத்தக்கது.

---

33 ஓ. ஹான்—O. Hahn

கடிகார முக வில்லையில்:

கதிரியக்கப் பொருள்களால் மற்றொரு பயனும் உண்டு. மிகக் குறைந்த அளவுகளில் அப்பொருள்கள் ஒளிர்விடும், (Luminescent) பொருள்களுடன் கலக்கப் பெறுகின்றன; இக்கலவை கதிர்வீசலின் விளைவாக மாறுத ஒளிர்வினைத் தருகின்றது. இக்கலவைப் பொருள்கள் கடிகார முகவில்லை களிலும் (Dials) அதன் குறி முட்களிலும் சிறந்த முறையில் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன.

தொழில் துறைகளில்:

கதிரியக்கப் பொருள்கள் தரும் கதிர்வீசல் தொழில் துறைப் பொருள்களின் உள்ளமைப்புக்களிலுள்ள குறைகளை கண்டறியவும் பயன்படுகின்றன; வழக்கமாக இதற்கு எக்ஸ் கதிர்கள்தாம் பயன்பட்டு வந்தன. இப்பொழுது காமாக் கதிர்வீசல் இச்செயலுக்குப் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றது. எக்ஸ் கதிர்கள் துளைத்துச் செல்ல முடியாத தடித்த பொருள் களைச். சோதிப்பதில் இம்முறை சிறப்பாகக் கையாளப் பெறுகின்றது; ஆனல், இவற்றை காமாக்கதிர்கள் எளிதில் துளைத்துச் செல்லுகின்றன. இம்முறையால் தொழில்துறைப் பொருள்களைச் சோதிப்பதில் வேறு முறைகளில் சோதிப் பதைவிட பெருத்த நன்மையுண்டு: இம்முறையால் பொருள் களுக்கு யாதொரு விதமான தீங்கும் நேரிடுவதில்லை.

இனி, கதிரியக்கப் பொருள்களை உற்பத்தி செய்யும் விதத்தையும் அவை எவ்வாறு பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன என்பதையும் சற்று விரிவாக ஆராய்வோம்.

கதிரியக்கப் பொருள்களின் உற்பத்தி:

செயற்கைமுறையில் கதிரியக்கப் பொருள்களை உண் டாக்க வேண்டுமாயின், அதற்கு ஏற்ற பொருளை யுரேனிய

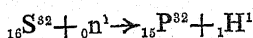
அணு உலையில் வைத்து நியூட்ரான்களைக் கொண்டோ அல்லது உயர்ந்த மின் அழுத்தமுள்ள மின்ஞக்கியிலோ (Generator) அல்லது சைக்ளோட்ரானிலோ வைத்துப்புரோட்டான்களையோ அல்லது ட்யூடெரான்களையோ கொண்டு கதிரியக்கம் பெறச் செய்யப்பெறுகின்றது. இதில் ஒரு சிறிய செய்முறைச் சங்கடம் (Practical difficulty) ஏற்படுகின்றது: அஃதாவது, எந்தப் பொருளைக் கதிரியக்கமுள்ள தாக்க வேண்டுமோ அப்பொருளின் தாய்ப் பொருளில் (Original material) மிகச் சிறிய, கணக்கிலடங்காத அளவுகளில் அசுத்தங்கள் உள்ளன. இந்தப் பொருள் தாய்ப் பொருளினின்றும் வேதியியல் முறையில் வேறுபட்டதாக இருக்கலாம்; அஃதுடன் முழுதும் ஒத்ததாகவும் இருக்கலாம்; அஃதாவது, அதனுடைய நிலையற்ற ஐசோடோப்புகளில் ஒன்ருக இருக்கலாம். அந்த இரண்டு பொருள்களின் வேதியியற்பண்புகள் வேறுபட்டனவாக இருந்து கணக்கில் அடங்கக் கூடிய எடையளவும் அப்பொருள் இருப்பின், சிறிதும் சங்கடமின்றி அந்த இரண்டு பொருள்களையும் வேதியியல் முறையில் பிரித்துவிடலாம். ஆனல், அப்பொருள் கணக்கிலடங்காத அளவுகளில் மிகக் குறைவாகக் கலந்திருப்பின், நிலைமை வேருகி விடுகின்றது. இச் சந்தர்ப்பங்களில் உட்கவர்தல் நிகழ்ச்சிகள் (Adsorption phenomena) அடிக்கடி ஏற்பட்டு வழக்கமாகப் பிரிப்பதற்கு மேற்கொள்ளும் வேதியியல் முறைகளைப் பிரயோகிப்பதைத் தடைப்படுத்துகின்றன. தாய்ப்பொருளுடன் முதலிலேயே நாம் உற்பத்தி செய்ய விரும்பும் பொருளின் கதிரியக்கமற்ற ஐசோடோப்பினை அதிகமாகச் சேர்த்து இப்பிரச்சினையைத் தீர்க்கலாம். இப்பொழுது உட்கவர்தல் நிகழ்ச்சிகள் நாம் புறக்கணித்துவிடும் அளவுக்கு மிகக் குறைந்த அளவில்தான் நடைபெறும்; கதிரியக்கமுள்ள பொருள் நிலையான ஐசோடாப்புக்களுடன் சேர்ந்து விழும் பொருளாகப் (Precipitate) படிகின்றது.

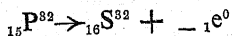
கையாளுவதில் திருத்தம்:

குறைந்த ஆயுளுள்ள கதிரியக்க ஐசோடோப்புக்களைக் கையாளும்பொழுது மேற்கொள்ளப்பெறும் வேதியியற் செயல்கள் சிறப்பாக ஓ. ஹான் என்பாராலும் அவருடன் சேர்ந்து பணியாற்றிய அறிஞர்களாலும் சிறந்த முறையில் திருத்தமடைந்துள்ளன.

கதிரியக்கப் பாஸ்வரம்:

மிகவும் முக்கியமான செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள் களில் கதிரியக்கப் - பாஸ்வரம் ஒன்று. எடுத்துக்காட்டாக, கார்பன்-டை-சல்ஃபைடு CS_2 என்றபொருள் நியூட்ரான்க ளால் தாக்கப்பெறுகின்றது. கந்தக அணுக்களில் அடியிற் கண்ட இயக்கம் நடைபெறுகின்றது:

$$_{16}S^{32} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{15}P^{32} + {}_1H^1$$

சாதாரணக் கந்தகத்தில் பொருண்மை—எண் 32ஐக் கொண்ட கந்தகம் கிட்டத்தட்ட 32 சதவிகிதம் உள்ளது; நியூட்ரான் அதே பொருண்மை - எண்ணைக்கொண்ட பாஸ் வரத்தையும் ஒரு புரோட்டானையும் உண்டாக்குகின்றது. கதிரியக்கமுள்ள இந்தப் பாஸ்வரத்தின் அரை - வாழ்வு 14.5 நாட்களாகும்; இது செய்முறைப்பயனுக்கு ஏற்ற பயன் விளைவிக்கும் சிறப்புக்கூறினைக் கொண்டுள்ளது என்பது வெளிப்படை; அஃது ஓர் எலக்ட்ரானை வெளிவிட்டு ஆதிநிலை யிலுள்ள கந்தகமாகவே மாறிவிடுகின்றது. இம் மாற்றம்,

$$_{15}P^{32} \rightarrow {}_{16}S^{32} + {}_{-1}e^0$$

என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்பெறுகின்றது.

எர்பேச்சர்[34] என்பார் கூறிய கருத்துப்படி, கதிரியக்கமுடை யதாக்கப்பெற்ற கார்பன்-டை-சல்ஃபைடுடன் நீரினைக்கலந்தா

34. எர் பேச்சர் - Erbacher.

லேயே கதிரியக்கமுள்ள பாஸ்வரம் உண்டாகின்றது; கதிரியக்கப் பாஸ்வரம் அயனி வடிவில் நீரில் கரைந்துள்ளது; கார்பன்-டை-சல்ஃபைடிலிருந்து ஏதாவது ஒரு முறையில் நீரினைப் பிரித்தெடுத்து விடலாம்.

கதிரியக்கமுள்ள பொருள் தாய்ப்பொருளைப் போலவே வேதியியல் முறையில் ஒத்திருந்தால், நிலைமை மிகவும் சங்கடமாக உள்ளது; இந்நிலையில் பிரித்தெடுத்தல் என்பது சாத்தியப்படாது என்று நாம் எதிர்பார்த்தல் காரண காரிய முறைக்கு ஒத்ததேயாகும். என்ற போதிலும், இது சில சந்தர்ப்பங்களில் இயலக்கூடியதே; அஃதாவது அப்பொருள் ஒரு நியூட்ரானை உட்கவர்ந்தால், கிளர்ச்சியுற்ற ஆற்றல் ஃபோட்டான் வடிவில் (காமாக்கதிர்வீசல்) வெளிவிடப்பெறுகின்றது. ஆனால், இந்த ஃபோட்டான் அணுக்கருவினுள் ஒரு பின் இயக்கத்தை (Recoil) விளைவிக்கின்றது; இவ்வியக்கம் உடனே அணுவை மின்னூட்டம் பெறச் செய்யலாம்; அல்லது அதன் வேதியியற் பிணைப்பை (Chemical bond) சிதைந்து போகச் செய்யலாம். இந்த நிகழ்ச்சியில், மிகத் திறனுள்ள வேதியியல் முறைகளைக் கையாண்டு கதிரியக்க அணுக்களைப் பிற அணுக்களின்றும் பிரித்தெடுக்க வேண்டும். இத்தகைய முறைகளை ஸிலார்டு[35], சால்மர்ஸ்[36] ஆகியோரும் பிறரும் கண்டறிந்துள்ளனர்.

(V) செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களை உளவு காட்டும் வழி-துலக்கிகளாகப் பயன்படுத்தல்

உளவு காட்டும் வழி-துலக்கிகளாக:

செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களைப் பயன்படுத்தும் சில முறைகளை மேலே குறிப்பிட்டோம். ஆனால், அண்மைக் காலங்களில் எங்கனும் பெருவழக்காகப் பயன்படும் ஒரு முறை உண்டு; தற்காலத்தில் இதனை மிக முக்கியமான

35. ஸிலார்டு - Szilard.
36. சால்மர்ஸ் – Chalmers.

தோன்றுகக் கருதலாம். கதிரியக்க அணுக்களை உளவு காட்டும் வழி - துலக்கிகளாகப் (Tracers) பயன்படுத்துவதே இம் முறையாகும் இதனைச் சிறிது விளக்குவோம்: முன்பெல்லாம், ஒரு குறிப்பிட்ட தனிமத்தின் தனிப்பட்ட அணுக்களை ஒரு செயலின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில் இனங்காண்பதென்பது முற்றிலும் இயலாததொன்று. இதற்குக் காரணம் என்னவெனில், உயிரியல் செயல்களிலோ அல்லது வேதியியல் செயல்களிலோ நாம் ஆராய்ச்சியில் மேற்கொண்ட உயிரியிலும் (Organism) பொருளிலும் அதேவித அணுக்கள் இருப்பதால் இவ்வணுக்கள் சென்ற வழியை விவரமாக அறிந்து பின் தொடர்ந்து செல்லமுடியாது. ஆயின் இப்பொழுது, பொருள் கொண்டு பறந்து செல்லும் புறுவின் காலிலோ அல்லது இடம் விட்டு இடம் செல்லும் (Migratory) பறவையின் காலிலோ ஒரு சிறு மோதிரத்தைப் பிணைப்பதுபோல, எந்தத் தனிமத்திற்கும் ஒரு குறியைப் பிணைத்துவிடுதல் இயலக்கூடிய தொன்று. இந்தக் குறிதான் கதிரியக்கம் என்பது; இது தனிமம் சென்ற வழியை எல்லா விவரங்களுடன் தொடர்ந்து செல்வதற்குத் துணையாகவுள்ளது.

இதை ஒரு சிறிய எடுத்துக்காட்டால் நாம் விளக்கலாம். நாம் ஒரு திண் பொருளுக்குள்ளேயே (Solid) அப்பொருளின் அணுக்கள் எவ்வாறு பரவுகின்றன என்று ஆராய்வதாகக் கொள்வோம். எடுத்துக்காட்டு: காரீயத்தில் காரீய அணுக்கள் எவ்வாறு பரவுகின்றன என்பது. கதிரியக்கம் கண்டறியப்பெறுவதற்கு முன்பு இது சாத்தியப்படக் கூடாத செயலாகும்; காரணம், நாம் தனிப்பட்ட ஓர் அணுவைக் காண்பதோ அல்லது அதனை வேறு காரீயஅணுக்களினின்றும் பிரித்தறிதலோ இயலாது. ஆனல், இன்று கதிரியக்க அணுக்களைக் கொண்ட ஒரு காரீயத் துண்டை கதிரியக்கமில்லாத அணுக்களைக் கொண்ட பிறிதொரு காரீயத் துண்டருகில் கொண்டு வந்தால், காரீய அணுக்கள் இந்த இரண்டு துண்டுகளிடையே 'பரவி விரவுதல்' (Diffusion) மூலம் ஒன்றிலிருந்து பிரிதொன்றிற்குத் தம்முள் பரிமாறிக்கொள்ளுகின்

றன; முதலில் கதிரியக்கமே இல்லாத இடத்தில் படிப்படியாக அதிக எண்ணிக்கையுள்ள கதிரியக்க அணுக்கள் காணப்பெறும். இம்முறையில் காரீய அணுக்கள் திண்ணிய காரீயத்தில் பரவி விரவிச் செல்லும் நேர் வேகத்தைப் பற்றிய செய்தியைக் கண்டறியலாம்.

இன்னோர் எடுத்துக்காட்டு:

இன்னோர் எடுத்துக்காட்டையும் காண்போம்; இதனுடைய அளவற்ற செய்முறை மதிப்பு இன்னும் தெளிவான விளக்கத்தைத் தருதல் கூடும்: ஒரு வாயு மூடியின் (Gas mask) வடிகட்டியைச் (Filter) சோதித்தலில் முக்கிய நோக்கம் யாதெனில், நஞ்சுப் பொருள்கள் உள்ளே செல்லாதவாறு பாதுகாப்பாக அமைந்துள்ள அவ்வடிகட்டி எந்த அளவில் அப்பொருள்களை உறிஞ்சுகின்றது என்பதைத் தீர்மானித்தலேயாகும். இதைக் கீழ்க்கண்டவாறு மிக எளிதாக முற்றுவிக்கலாம்: நஞ்சுப் பொருள்களிலுள்ள தனிமங்களில் ஒன்றன் கதிரியக்க அணுக்களை அந்த நஞ்சுப் பொருள்களுடன் சேர்த்து அப்பொருள்கள் வடிகட்டி மூலமாக அனுப்பப் பெறுகின்றன. இந்தக் கதிரியக்க அணுக்கள் நிலையான அணுக்களைப்போலவே ஒரேவித வேதியியல் எதிர்வினைகளை அடைகின்றன. நஞ்சுப் பொருள்கள் வடிகட்டியின்மூலம் சென்ற பிறகு வடிகட்டியின் மறுபுறம் கதிரியக்கம் காணப் பெறுகின்றதா, அன்று என்று நாம் தீர்மானிக்க வேண்டும்; அஃது அவ்வாறு காணப்பெறின், அக்கதிரியக்கத்தின் உறைப்பு (Intensity) வடிகட்டியின் வழியாக அந்நஞ்சுப் பொருள் என்ன சதவீதம் சென்றுள்ளது என்பதை எடுத்துக் காட்டும். வடிகட்டியின் தனிப்பட்ட பகுதிகள்கூட சரி பார்க்கப்பெறுதல் வேண்டும். ஏனெனில், நஞ்சுள்ள பொருள்கள் வடிகட்டியின்மூலம் சென்ற பிறகு, நஞ்சுப் பொருள்களை உறிஞ்சுதலால், அவ்வடி கட்டியின் பகுதிகள் அடைந்த கதிரியக்கத்தின் உறைப்பு தீர்மானிக்கப்பெறும். இந்த முறை

வடிகட்டியின் தனிப்பட்ட பகுதிகளின் திறனைக் குறித்த தகவலைத் தரும். அங்ஙனமே, வாயு மூடியின் இரப்பர் மேலுறை நஞ்சு வாயு புகாதவாறு இறுக அடைக்கப்பெற்றுள்ளதா, இல்லையா என்று சரி பார்க்கவேண்டும்: இரப்பர் மேலுறையின் ஒரு பக்கத்தில் இந்த நஞ்சு வாயு படும்படி செய்து அடுத்தப் பக்கத்தில் ஏதாவது கதிரியக்கம் காணப்பெறுகின்றதா என்பதை உற்றுநோக்கி இது செய்யப்பெறுகின்றது. அவ்வாறு கதிரியக்கம் இருப்பது தெரிந்தால் இரப்பர் மேலுறை ஒருவாயு மூடிக்குப் பொருத்தம் இல்லை என்பது மெய்ப்பிக்கப்பெறுகின்றது. இத்தகைய சோதனை செய்யும் முறைகள் பார்ன்,[37] ஸிம்மர்[38] என்ற இருவராலும் விவரிக்கப்பெற்றுள்ளன; அவை நடைமுறையிலும் பயன்படுத்தப்பெற்று வருகின்றன.

(VI) வேதியியலில் செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்கள்

அளவறி பகுப்புத் துறையில்:

வேதியியலில் கதிரியக்கப்பொருள்கள் பெரு வழக்கில் உளவு காட்டும் வழி-துலக்கிகளாகப் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன. முதலாவதாக, அளவறிபகுப்புத் (Quantitative-analysis) துறையிலிருந்து ஓர் எடுத்துக்காட்டினைத் தருவோம். எர்பேச்சர், ஃபிலிப்[39] என்ற இரண்டு அறிவியலறிஞர்கள் பொன், இரிடியம், பிளாட்டினம் என்பவற்றின் கலவையைக்கொண்டு அளவறிபகுப்பை மேற்கொண்டு முயற்சி செய்தனர். ஹைட்ரஜன் பெர் - ஆக்ஸைடால் ஆக்ஸிஜென் குறைத்தல் நடைபெற்ற பிறகு கலவையிலுள்ள

---

37. பார்ன்-Born.
38. ஸிம்மர்-Zimmer.
39. ஃபிலிப்-Philipp.

பொன் உலோக வடிவில் விழும்பொருளாகப் (Precipitate) பிரிக்கப்பெற்றது; முதலில் கலவையுடன் சேர்த்த பொன்னின் அளவும் விழும் பொருளாகப் பெற்ற பொன்னின் அளவும் கிட்டத்தட்ட சரியாக உள்ளனவா என்பதை அறிவதற்காக இப்பொருள் நிறுக்கப்பெற்றது; அஃதாவது, பொன் அளவறி முறையில் உண்மையில் பிரிக்கப்பெற்றுவிட்டதா என்பது அறுதியிடப்பெற்றது. உண்மையில் அஃது அவ்வாறு இருப்பதாகத்தான் காணப்பட்டது; பிரித்தெடுத்தல் முற்றிலும் வெற்றிகரமாக முடிந்ததாகவே தோன்றியது. மீண்டும் ஒரு முறை சரி பார்ப்பதற்காகச் சிறிதளவு கதிரியக்கப் பொன் அஃதுடன் சேர்க்கப்பெற்றது. பிரித்தெடுக்கப்பெற்ற பொன்னின் கதிரியக்கம் தொடக்கத்திலுள்ள பொன்னின் கதிரியக்கத்தைவிட உணர்ந்தறியக் கூடிய அளவுக்கு—ஒரு கணிசமான அளவுக்கு—குறைவாகவே இருந்தது. இதனால் பொன் அளவறி முறைப்படி சரியாகப் பிரிக்கப்பெறவில்லை என்பது மெய்ப்பிக்கப்பெற்றது; சரியான முடிவுபோல் காணப்பெற்றதற்குக் காரணம், விழும்பொருளாகப் பிரிந்த பொன்னுடன் ஒரு சிறிது பிளாட்டினமும் இரிடியமும் கலந்து இருந்தமையே; இவ்வாறு கலந்திருந்த பிளாட்டினம், இரிடியம் ஆகியவற்றின் அளவு மறைந்த பொன்னின் அளவுக்குச் சரியாக இருந்தது.

இந்த எடுத்துக்காட்டினுல் அளவறி பகுப்பில் கதிரியக்கப் பொருள்களைப் பயன்படுத்துவது எவ்வளவு முக்கியமான கூறு என்பதை அறிகின்ருேம். ஒரு பொருளுடன் ஒரு சிறிதளவு அப்பொருளின் கதிரியக்க ஐசோடோப்பு உளவு காட்டும் வழி துலக்கியாக—குறியாக, அல்லது தொடுப்பாக—சேர்க்கப்பெறுகின்றது. இதனுல், உளவு காட்டும் வழி-துலக்கியின் கதிரியக்கம் எல்லா இயக்கங்களிலும் அப்பொருள் பங்கு கொள்ளும் வளர்ச்சியைத் தொடர்ந்து சென்று காண முடிகின்றது; நமக்கு வேண்டுவதெல்லாம், ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அப்பொருள் இருக்கும் அளவினை அறுதியிடுவதற்கு அதன் அரை-வாழ்வைத் தெரிந்து கொள்

வதே. கதிரியக்க உறைப்பின் அளவால் அடையும் முடிவு மேற்படி பொருளை அளந்து காண்பதைவிட மிகவும் சரி யாகவே இருக்கும்; உண்மையாகப் பார்த்தால், மேலே குறிப்பிட்ட எடுத்துக்காட்டு உணர்த்துவதுபோல், இன்னும் நம்பகமான ஒரு முடிவையே தருகின்றது என்று கூடச் சொல்லலாம்; காரணம், நாம் காணவேண்டிய பொருள் உண்மையில் அதுதானா, இல்லையா என்பதைத் தவருமலும் காட்டும்.

பரிமாற்றச் செயல்களை ஆராய்வதில்:

இரண்டாவதாக, வேதியியல் துறையில் சில சமயம் பரி மாற்றச் செயல்களை ஆராய வேண்டிய இன்றியமையாமை நேரிடலாம். இஃது எவ்வித ஆராய்ச்சி முறைக்கும் எட் டாதது; சிறப்பாக ஒரே பண்புகளைக் கொண்ட தனிமங்கள் தம்முள் பரிமாறிக்கொள்ளும் செயலில் இதனைக் கண்டறி தல் சிரமமானது. எடுத்துக்காட்டாக, கந்தக அமிலமும் (Sulphuric acid) கந்தச அமிலமும் (Sulphurus acid) ஒன்று சேருங்கால் இந்தஇரண்டு பொருள்களிலுமுள்ள கந்தகஅமில அயனிகளும் கந்தச அமில அயனிகளும் தம்முள் பரிமாற்றம் அடைகின்றனவா என்பதற்கு விடை காண்பதைக் கூறலாம். இதுகாறும், இந்த இரண்டு பொருள்களின் அணுக்களில் ஒன்றன் அணுக்களிலிருந்து பிறிதொன்றன் அணுக்களை வேறு படுத்தி அறிதல் உண்மையிலேயே சாத்தியப்படக்கூடாததாக இருந்தது. ஆனால், இன்று கதிரியக்கம் (Radioactivity) இந்த இரண்டு பொருள்களின் சில அணுக்களையாகிலும்—ஆனால், எப்படியும் போதுமான எண்ணிக்கையில்—குறியிடுவதற்கு வசதியளிக்கின்றது. இந்த இரண்டு பொருள்களையும் பிரித் தெடுத்த பிறகு குறிப்பிட்ட அணுக்கள் வேறு பொருள்களில் காண நேர்ந்தால், இந்நிகழ்ச்சி அணுக்கள் பரிமாற்றம் அடைந்ததை மெய்ப்பிப்பதாகின்றது. இத்தகைய சோதனை கள் SO_4'' SO_3'' என்ற அயனிகளுக்கிடையே கந்தக அணுக் களின் பரிமாற்றம் நடைபெறுகின்றன என்பதைக் காட்டு

அணுக்கரு மாற்றங்களும் வேதியியலில் அவற்றின் பிரயோகங்களும்

அவற்றின் பிரயோகங்கள்

உயிரியல் வேதியியல்	தாவரங்கள், பிராணிகள், மானிட உயிர்கள் ஆகியவற்றில் வளர் சிதை மாற்றங்கள்; எலும்புகளும் பற்களும் உண்டாதல்; மருத்துவச் சோதனைகள்.
கூழ்நிலைப் பொருள் வேதியியல்	கூழ்நிலைப் பொருள்கள், பளிங்குநிலைப் பொருள்கள் ஆகியவற்றை உற்றறிந்து காணல்; கூழ்நிலைப் பொருள்களும் களிநிலைப் பொருள்களும் காலத்தால் மாறுபாடடைதல்.
தொழில் முறை வேதியியல்	γ-கதிர்கள்மூலம் பொருளைச் சோதித்தல்; கதிரியக்கமுள்ள ஃபோட்டோ ஜெனிக்பொருண்மை; வாயுக்களின் நுழைதிறன்பற்றிய சோதனை.
பௌதிக வேதியியல்	எதிர்வினையின் வேகம்; சார்பிலாத மேற்பரப்புகள்; மேற்பரப்பும், அமைப்பு மாற்றங்களும்; பரவி விரவும் செயல்; திண்பொருள் நிலையில் எதிர்வினைகள்.
தொகுமுறை வேதியியல்	BiH_3இன் கண்டு பிடிப்பும் உற்பத்தியும்.
பகுமுறை வேதியியல்	வேதியியல் பிரிவின் தத்துவம்; அளவறி பகுப்பு; சிதைக்கப்பெறாத பகுப்பு.
கரிமமிலா வேதியியல்	புதிய தனிமங்களின் பண்புகள், கரைதிறனையும் அமைப்பையும் கண்டறிதல்; லாட்டிஸ் அமைப்பு.

கின்றன. (SO_4, SO_3, என்ற குறியீடுகளுக்கு மேலுள்ள இரண்டு தொகைக் குறிகள் (Apostrophes) இந்த அயனிகளின் இரட்டை எதிர்மின்னூட்டத்தைக் குறிக்கின்றன).

வேறு சில வேதியியற் பிரயோகங்கள்:

இவ்விடத்தில் மேலும் சில வேதியியற் பிரயோகங்களைச் சுருக்கமாகக்குறிப்பிட விரும்புகின்றேன். 280, 281 ஆம்பக்கங்களிலுள்ள அட்டவணை பல்வேறு வகைப் பிரயோகங்களைப் பற்றி சிறிதளவு விளக்கம் தரக்கூடும். முதலில் நாம் கரிமமிலா வேதியியலைப் (Inorganic chemistry) பற்றி ஆராய்வோம்; புதிய வேதியியல் தனிமங்களின் ஆராய்ச்சியினை முதலில் தொடங்குவோம்.

ஆவர்த்த அட்டவணையில் சில புதிய தனிமங்கள்:

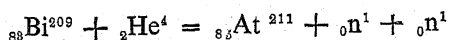
அண்மைக்காலம் வரையில் ஆவர்த்த அட்டவணையில் சில தனிமங்களின் இடங்கள் வெறுமையாகவே இருந்தன. வழக்கமாகச் சொல்லுகிறபடி கூறினுல், இந்தத் தனிமங்கள் இன்னும் கண்டறியப்பெருதவை; ஆனுல், இவை இய்றகையில் உள்ளனவாகக் கருதப்பெறவேண்டியவை. இவற்றுள் மிக நன்ருக அறிந்தவை 43, 61 என்ற அணு-எண்களைக் கொண்டவை; அஃதாவது, அந்த எண்கள் அளவு அணுக்கரு மின்னூட்டங்களைக் கொண்டவை. நீண்ட நாட்களாகவே 43 என்ற தனிமம் * இயற்கையில் கண்டறியப்பெற்றதாகவே நம்பப்பெற்று வந்தது; 'மசூரியம்' (Masurium) என்றும் அதற்குப் பெயரும் இடப்பெற்றிருந்தது. ஆனுல், இன்று நாம் இவ்வாறு கருதினமை தவறு என்பதைக் காரணத்துடன் அறிகின்ருேம்; இந்த வகை நிலைத்த ஒரு தனிமம் இருக்க முடியாது என்பதையும் புரிந்துகொண்டுள்ளோம். ஏனெனில், இந்தத் தனிமத்தின் ஒவ்வொரு ஐசோடோப்பும்

* வேதியியலில் 1 முதல் 92 வரை எண்களால் அணுக்களைக் குறியிட்டழைப்பது ஒரு முறை.

செயற்கை முறையில் உண்டாக்கப்பெற்றுள்ளது; அவை ஒவ்வொன்றும் கதிரியக்கமுள்ளதாகவுள்ளது என மெய்ப்பிக்கவும் பெற்றுள்ளது. இந்த ஐசோடோப்புக்களில் நீண்ட காலம் நிலைத்திருக்கக்கூடியதன் பொருண்மை-எண் 99 ஆகும்; அதன் அரை-வாழ்வு கிட்டத்தட்ட நான்கு மில்லியன் ஆண்டுகள் ஆகும். பூமியின் வயதை நோக்க இது மிகவும் குறைந்த காலமாக இருப்பதால், 43 என்ற தனிமம் அளந்து காணக்கூடிய அளவில் இயற்கையில் நிச்சயமாக இருக்கமுடியாது. இந்தத் தனிமத்தை ஒரு யுரேனிய அணு உலையில் (ரீயாக்டரில்) செயற்கை முறையில் உற்பத்தி செய்யக்கூடுமாதலால், அண்மையில் டெக்னீஷியம் (குறியீடு: Tc) என்பதாக அதன் பெயர் இடப்பெற்றுள்ளது. ஆகவே, மேற்கூறிய மிகவும் நிலைத்திருக்கக்கூடிய ஐசோடோப்பு $_{43}Tc^{99}$ என்று குறியிடப்பெறுகின்றது. 61 என்ற தனிமத்தின் நிலையும் இதைப்போன்றதே. இந்த 61 என்ற தனிமமும் சில கனிப்பொருள்களில் கண்டறியப்பெற்றதாக நம்பப்பெற்றது; இல்லினியம் (Illinium) என்ற பெயரும் அதற்கு இடப்பெற்றிருந்தது. ஆயினும், இந்தக் கண்டுபிடிப்பினை உறுதிப்படுத்தக்கூடவில்லை. ஆகவே, இந்த இரண்டு பொருள்களும் நிலைத்த வடிவில் இயற்கையில் இல்லை என்பது உறுதிப்படுகின்றது.

ஆனால், இந்தத் தனிமங்களை, கதிரியக்கப் பண்புகளைக் கொண்டனவாக உற்பத்தி செய்யக்கூடுமாதலின், அவற்றைக்கொண்டு வேதியியல் எதிர்வினைகளையும் உண்டாக்குவது சாத்தியப்படக்கூடியதே. கதிரியக்கம் சிறிதளவுகூட வேதியியல் செயல்களில் குறுக்கிடுவதில்லை. ஆகவே, 43 என்ற தனிமத்தின் வேதியியற்பண்புகள் தொடர்ச்சியாகவுள்ள சோதனைகளால் கண்டறியப்பெற்றுள்ளன. 61 என்ற தனிமத்தைக் கண்டறிவது மிகவும் சிரமமாகவுள்ளது; ஏனெனில், அஃது 'அருமண்கள்' (Rare earths) எனப்படும் தனிமங்களில் ஒன்றாகும்; அதனுடைய வேதியியற்பண்புகள் அந்தக் குழுவிலுள்ள ஏனைய தனிமங்களின் பண்புகளைப்போலவே உள்ளன.

ஆவர்த்த அட்டவணையில் வெறுமையான இடங்களில் இருக்கவேண்டிய வேறு இரண்டு தனிமங்களும்—**85, 87** என்ற அணு-எண்களைக்கொண்டவை—செயற்கை முறையில் உண்டாக்கப்பெற்றுள்ளன. கார்சான்[40], மெக்கன்சி[41], செக்ரே[42] என்ற அறிவியலறிஞர்கள் மிக உயர்ந்த ஆற்றலைக்கொண்ட (32 Mev) ஆல்பாக் கதிர்களால் பிஸ்மத்தை தாக்கி அதிலிருந்து 85 என்ற தனிமத்தை உண்டாக்கினர்; 'அஸ்டாடைன்' (Astatine) (குறியீடு: At) என்று அதற்குப் பெயர் இடப்பெற்றது. அஃது அடியிற்கண்ட செயலால் உண்டாகின்றது:

$$_{83}Bi^{209} + {}_{2}He^{4} = {}_{85}At^{211} + {}_{0}n^{1} + {}_{0}n^{1}$$

அந்தக் காலத்திலிருந்து, இயற்கையில் கிடைக்கும் கதிரியக்கப் பொருள்களில் $_{85}At^{218}$-இன் சிறிது அளவுகள் (Traces) $_{84}RaA^{218}$ ($_{84}Po^{218}$) என்பது சிதைந்தழிதலின் விளைபொருளாக கார்லிக்[43], பெர்னெர்ட்[44] என்ற அறிவியலறிஞர்களால் உற்றறிந்துகண்டறியப்பெற்றன.

87 என்ற தனிமம் நெப்ட்யூனிய ஐசோடோப்பு ஒன்று சிதைந்தழிதலின் விளைவாக உண்டாகும் ஒரு பொருள் ஆகும். அதன் சிறிது அளவுகளும் இயற்கையில் கிடைக்கும் ஆக்டினியத்தின் கதிரியக்கச் சிதைவிலிருந்து பெர்ரே[45] என்பவரால் கண்டறியப்பெற்றுள்ளன. அது 'ஃபிரான்சியம்' (Francium) என்று பெரியடப்பெற்றுள்ளது.

இறுதியாக, யுரேனியத்துடன் முடிவுபெறும் தனிமங்களின் ஆவர்த்த அட்டவணை 96 என்ற அணு-எண் வரையிலும் செயற்கைமுறையில் நீட்டப்பெற்றுள்ளது*. ஏற்

---

40 கார்சான்—Corson. 41. மெக்கன்சி—Mckenzie.

42 செக்ரே—Segre

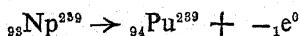
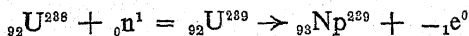
43 கார்லிக்—Karlik. 44 பெர்னெர்ட்—Bernert.

45. பெர்ரே—Perrey

* இன்று நொபீலியம் (அணு-எண் 103) வரையிலும் நீட்டப்பெற்றுள்ளமை அறியத்தக்கது.

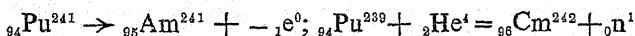
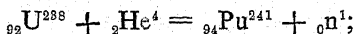
கெனவே, நாம் நெப்ட்யூனியத்தையும் புளூட்டோனியத்தை யும் குறிப்பிட்டுள்ளோம். இந்த இரண்டு தனிமங்களும் முக்கியமாக யுரேனிய அணு உலையில் உண்டாக்கப்பெறு கின்றன. அவை உண்டாதலை அடியிற்கண்ட வாய்பாடுகள் உணர்த்துகின்றன:

$$_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} = {}_{92}U^{239} \rightarrow {}_{93}Np^{239} + {}_{-1}e^{0}$$

$$_{93}Np^{239} \rightarrow {}_{94}Pu^{239} + {}_{-1}e^{0}$$

ஆனால், இந்த இரண்டு தனிமங்களின் பிற ஐசோ டோப்புக்களும் செயற்கைமுறையில் உண்டாக்கப்பெறு கின்றன.

95 என்ற தனிமமும் (அமெரிசியம்) (Americium—Am) 96 என்ற தனிமமும் (குயூரியம்) (Curium—Cm) கீழ்க்கண்ட வாறு கிடைக்கின்றன:

$$_{92}U^{238} + {}_{2}He^{4} = {}_{94}Pu^{241} + {}_{0}n^{1};$$

$$_{94}Pu^{241} \rightarrow {}_{95}Am^{241} + {}_{-1}e^{0}; \; {}_{94}Pu^{239} + {}_{2}He^{4} = {}_{96}Cm^{242} + {}_{0}n^{1}$$

எனவே, புதிய வேதியல் தனிமங்களை உண்டாக்குதல் என்பது எதிர்காலத்தில் ஒரு கனவாக இருத்தல் இல்லை; ஆனல், அது நவீன அணுக்கருவியலில் (Nucleonics) ஒரு முக்கிய பகுதியாகின்றது.

தொகுப்பு வேதியியல்

இப்பொழுது நாம் புதிய வேதியியற் கூட்டுப்பொருள்களை உண்டாக்கும் துறையாகிய தொகுப்பு வேதியியலுக்கு (Synthetic chemistry) வருகின்றோம். பிஸ்மத் ஹைட்ரேட் என்பது இதற்கு நல்லதோர் எடுத்துக்காட்டாகும். இத்தகையதொரு கூட்டுப் பொருளை உண்டாக்குதல் சாத்தியம் என்பது வேதி யியல் ஒப்புடைமைகளால் (Chemical analogies) கண்ட முடி

வாகும். ஆனால், அந்த வாயுவை உற்றறிந்து காண்பது மிகச் சங்கடமான செயலாதலால், அதனை உண்டாக்க மேற் கொண்ட முயற்சிகள் யாவும் வெற்றியடையவில்லை. எனினும், கதிரியக்கமுள்ள பிஸ்மத் உளவு காட்டும் வழி-துலக்கியாகப் பயன்படுவதால், இந்தத் திட்டத்தில் வெற்றி காண முடிந்தது.

இன்னும், கூழ்நிலைப் பொருள்கள் (Colloids) பற்றிய வேதியியலில் மேலும் சில பிரயோகங்களைக் குறிப்பிடலாம்; கூழ்நிலைப் பொருள்களின் கரைசல்களையும் படிக நிலைப் பொருள்களின் கரைசல்களையும் உற்றறிவதிலும் கூழ்நிலைப் பொருள்களும் களிநிலைப்பொருள்களும் (sols and gels) காலத்தால் மாறுபாடடையச் செய்வதிலும் அவை பயன் படுகின்றன.

(VII) உயிரியலிலும் உயிரியல்பற்றிய வேதியியலிலும் செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்கள்

செயற்கை முறையில் உண்டாக்கப்பெற்ற கதிரியக்கப் பொருள்கள் உயிரியலில் மிகச் சிறந்த பயன் விளையுமாறு உளவுகாட்டும் வழி-துலக்கிகளாகக் கையாளப்பெறுகின் றன. உயிருள்ள ஓர் உயிரியிடம் நடைபெறும் மாற்றங்கள் சோதனைக் குழலில் நடைபெறுவதை விட மிகவும் மெதுவாகவே நடைபெறுகின்றன. இந்த உண்மையின் காரணமாக நாம் அரை-வாழ்வு அதிகமாகவுள்ள கதிரியக்க ஐசோடோப்புக்களைப் பயன்படுத்த வேண்டியவர்களாகின்றோம்.

வளர்-சிதை மாற்ற ஆராய்ச்சியில்:

இத்துறையில் மிக முக்கியமான பிரயோகங்களில் ஒன்று வளர்-சிதை மாற்றத்தின் ஆராய்ச்சியாகும்; இதை ஹெவ்சியும்[46] பிறரும் மேற்கொண்டு நடத்தினர். முன்னர், வளர்-

46 ஹெவ்சி—Hevesy

சிதை மாற்றத்தின் முழுதும் தழுவிய தோற்றத்தை அறுதி யிடுவது சாத்தியமாக இருந்தது; ஒரு குறிப்பிட்ட காரணத் திற்காக உயிரியினுள் செலுத்தப்பெற்ற யாதாவது ஒரு பொருள் ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்திற்குப்பிறகு பல்வேறு பகுதிகளிலும் எந்த அளவுகளில் உள்ளன என்பதைச் சரி பார்த்தே இஃது அறுதியிடப்பெற்றது. எனினும், இந்தக் குறிப்பிட்ட பொருளை இதற்கு முன்னர் உயிரியில் இருக்கும் வேதியியல் வகையில் முழுதும் ஒத்துள்ள பொருளிலிருந்து வேறுபடுத்தி அறிதல் முற்றிலும் இயலாததாக இருந் தது. இதனால் மேலே அறுதியிட்ட செய்தி நம்பத் தக்க தாக இல்லை; அதுவும் சிறப்பாகப் பல்வேறு உள்ளுறுப்புக் களினிடையே செலுத்தப்பெற்ற பொருள் எந்தவேகத்தில் வினியோகம் ஆகின்றது என்பதை உறுதியாக நம்ப முடிய வில்லை. ஆனால், அணுக்களின் கதிரியக்கத்தைக்கொண்டு அவற்றைக் குறியிடும் துறை நுணுக்க முறை (Technique of Labelling) இச்சங்கடத்தை முற்றிலும் நீக்கிவிட்டது. இந்த உளவு காட்டும் வழி - துலக்கித் துறை நுணுக்க முறையினால் நாம் உயிரியினுள் செலுத்திய அணுக்களை ஏற்கெனவே அங் கிருந்த அணுக்களினின்றும் வேறுபடுத்தி அறிய முடிகின்றது.

எடுத்துக்காட்டாக, பார்ன்[47], ஷ்ராம்[48], ஸிம்மர்[49], என்ற அறிஞர்கள் கதிரியக்கப் பாஸ்வரத்தைக் கொண்ட ஊட்ட முள்ள புலத்தில் புகையிலைப் பயிரைச் சாகுபடி செய்தனர்; பாஸ்வரம் உயிர் வாழ்பவைகட்கு (Organic life) மிகவும் இன்றியமையாத பொருளாதலின், கதிரியக்கப் பாஸ்வரம் செடிகளில் உண்டாக்கிய வளர்ச்சியையும் அது சென்ற சுவடு களையும் நன்றாக உற்றுநோக்க முடிந்தது; அப்பொருள் அதிகச் செறிவுடன் திரண்ட இடங்களையும் அறிய முடிந்தது. கதிரியக்கப் பாஸ்வரத்தின் பெரும் பகுதி மிகத் துளிராக

---

47. பார்ன் -Born
48. ஷ்ராம் - Schramm.
49. ஸிம்மர் - Zimmer.

வுள்ள சிறிய இலைகளுக்கும், அதைவிடக் குறைந்த பகுதி அவற்றின் கீழுள்ள இலைகளுக்கும், இன்னும் குறைந்த பகுதி முற்றிலும் வளர்ச்சிபெற்ற இலைகளுக்குமாகச் சென்றது, மரச்சாறு செல்லுவது நின்ற ஒரு இலையில் மட்டிலும் பாஸ்வரம் சிறிதும் உறிஞ்சப்பெறவில்லை. இம்முறையில் மேற்கொண்ட இன்னோர் ஆராய்ச்சி செடியில் பாஸ்பரம் செல்லும் வேகத்தை அறுதியிட்டது; அது விநாடி ஒன்றுக்கு 10 செ. மீ. வீதம் சென்றதாகக் கண்டறியப்பெற்றது.

பிராணிகளின் வளர்-சிதை மாற்றத்தைக் கண்டறிவதிலும்:

செயற்கை முறையில் உண்டாக்கப்பெற்ற கதிரியக்கப் பொருள்கள், குறிப்பாகக் கதிரியக்கப் பாஸ்வரம், பிராணி வளர்-சிதை மாற்றத்தை ஆராயவும் பயன்படுத்தப்பெறுகின்றன. இங்குப் பிராணிகள் உண்ணும் உணவில் பாஸ்வரம் கலக்கப்பெற்றது; அல்லது அவற்றின் உடலில் குத்திப் புகுத்தப்பெற்றது (ஹெவ்சி-Hevesy). இந்தத்துறை நுணுக்க முறை சிறிது நேரத்தில் உயிரியின் எப்பகுதிகளில் பாஸ்வரம் படியும் போக்கைப் பெற்றுள்ளது என்று தீர்மானிக்கவும், அதே சமயத்தில் அஃது அகற்றப்பெறும் வேகத்தை அறுதியிடவும் சாத்தியப்படச் செய்கின்றது; இதனால் வளர்-சிதை மாற்றத்தைப் பற்றிய தகவலை எண் - முறையிலும் விகித - முறையிலும் அடைவதோடன்றி விவரங்களுடனும் பெற முடிகின்றது. பிற செய்திகளுடன், ஒரு குறிப்பிட்ட காலஎல்லைக்குப் பிறகு பாஸ்வரம் முக்கியமாக எலும்புகளிலும் கல்லீரலிலும் படிகின்றது என்றும், மேலும் சிறிது காலத்திற்குப் பிறகு அது பற்களில் படிகின்றது என்றும் உறுதிப்படுத்தப்பெற்றுள்ளது. இவ்வாறு பல முக்கியமான உயிரியல்பற்றிய எடுகோள்களைப் (Data) பெற முடிகின்றது.

இத்தகைய சோதனைகளுக்குத் தேவையான கதிரியக்கப் பொருள்களின் அளவுகளும் மிகக் குறைவாக இருப்பதால், அவற்றால் உயிரிக்கு யாதொரு தீங்கும் நேரிடுவதில்லை.

ஒளிச்சேர்க்கை:

இந்த உளவு காட்டும் வழி - துலக்கி முறையால் தீர்க்கக் கூடிய இன்னொரு முக்கிய பிரச்சினை கரியமிலவாயுவைத் தாவரங்கள் தன்வயமாக்கிக்கொள்வதில் ஆகும். பச்சைத் தாவரங்கள் காற்றிலுள்ள கரியமிலவாயுவைத் தன்வயமாக்கி அதனை ஹைட்ரோ கார்பன்களாக (Hydrocarbon) மாற்றுவதற்குக் கதிரவன் ஒளியால் பெறும் ஆற்றலைப் பயன்படுத்துகின்றன என்பது எல்லோரும் நன்கு அறிந்த செய்தியாகும். (இதுவே, ஒளி-வேதியியல் செயல் என்றும் வழங்கப்பெறும்). இவ்வாறு தாவரங்கள் கதிரவன் ஆற்றலைச் சேமித்து வைக்கின்றன. ஆனால், இந்தச் செயலைப்பற்றிய விவரங்கள் ஒன்றும் சரியாகத் தெரியவில்லை; இதன் பொறி நுட்ப இயலைப்பற்றிப் (Mechanism) பல்வேறு கொள்கைகள் தோற்றுவிக்கப்பெற்றுள்ளன. ஒவ்வொரு தாவரமும் கிட்டத்தட்ட நான்கு ஃபோட்டான்கள் ஒளியை உட்கொண்டு தம்முடைய ஆற்றலின் துணையால் வேதியியல் எதிர்வினையை முற்றுவிக்கின்றது என்பது உறுதியாகத் தெரிந்த செய்தியாகும். இந்தப் பிரச்சினையை நன்கு விளக்குவான் வேண்டி ரூபன்[50], ஹாஸிட்[51], கேமன்[52] என்ற அமெரிக்க அறிவியலறிஞர்கள் பொருண்மை - எண் 11 ஐக் கொண்ட கதிரியக்கக் கரியமிலவாயுவைப் பயன்படுத்தினர்; இவ்வாயுவின் அரை - வாழ்வு 20 நிமிடங்கள். தன் வயமாகும் வழியை அமைத்துக்கொடுப்பதற்கு முதலில் ஓர் எதிர்வினை இருட்டில் நடைபெறுகின்றது என்றும், இந்த எதிர்வினையின் பொழுது கரியமிலவாயுவிலுள்ள (Co_2) கார்பனும் ஆக்ஸிஜனும் ஹைட்ரஜனுடன் சேர்ந்து ஒரு பெரிய கரிம மூலக் கூறில் கார்பாக்ஸில் (CooH என்ற எச்சம்) என்ற தொகுதி வடிவமாகின்றது என்றும் கண்டனர். பின்னர், கார்பாக்ஸில் என்ற

50. ரூபன் - Ruben. 51. ஹாஸிட் - Hassid.

52. கேமன் - Kamen.

தொகுதியிலிருந்து பெரிய சருக்கரை மூலக்கூறுகளாகி குளுகோஸ் என்ற பழச்சருக்கரை ($C_6H_{12}O_6$) உண்டாகின்றது. முடிவாக, தன் வயமாகும் செயல் பல நிலைகளில் நடைபெறுகின்றது என்ற முக்கியமான மெய்ம்மை நிலைநிறுத்தப்பெற்றது. எனினும், இந்தச் செய்தியைக் குறித்து இவ்விடத்தில் மேலும் பல விவரங்களை நாம் விரித்துப்பேசவேண்டியதில்லை.

(VIII) மருத்துவத்துறையில் செயற்கைக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புக்கள்

சிலகாலத்திற்குப் பின்னர் செயற்கைக் கதிரியக்க ஐசோடோப்புக்கள் மருத்துவத்துறையில் உயர்ந்த முறையில் பயன்படுத்தப்பெற்றன. மேற்குறிப்பிட்ட சோதனை சிறிய அறைகளில் கதிரியக்கப் பொருள்களில் சாதாரணமாகக் கேடுறுத உயிரியை (Organism) ஆராய்வது முக்கியமானதாயிருந்தது; இதற்கு மாறுக, அதிக அளவு பொருள்களைப் பயன்படுத்தி அவை தம் கதிரியக்கத்தால் உயிரியில் என்ன விளைவிக்கின்றன என்பதைச் சோதிப்பதும் சாத்தியப்படுகின்றது. ஸ்காட்[53], குக்[54] என்ற இரண்டு அறிஞர்கள் இம்முறைகளில் ஒரு விரிவான ஆராய்ச்சியினை மேற்கொண்டனர்; அவர்கள் பெர்க்லியிலுள்ள[55] சைக்ளோட்ரானில் உற்பத்தியான கதிரியக்கப் பாஸ்வரத்தை இளம் பெட்டைக் கோழியின் உணவில் கலந்து கதிர்வீசலினால் உண்டாகும் குருதி நிறமிகளின் மாற்றங்களை (Haematological changes) ஆராய்ந்தனர். அவர்கள் கவர்ச்சிகரமான பல மாற்றங்களைக்கண்டு அவற்றை எக்ஸ் கதிர்களால் உண்டாகும் பிறமாற்றங்களுடன் ஒப்பிட்டனர். குருதியில் செவ்வுடலிகள் (Red corpuscles), வெள்ளுடலிகள் (White corpuscles) என்ற இரண்டுவித உடலிகள்

53. ஸ்காட் - Scott. 54. குக் - Cook.
55. பெர்க்லி - Berkeley.

உள்ளன என்பதை நாம் நன்கு அறிவோம். இவற்றுள் வெள்ளுடலிகள் பல்வேறு தொகுதிகளாகப் பிரிக்கப் பெற்றுள்ளன; அவற்றுள் பாலிமார்போ நியூக்ளியர் லூக்கோசைட்ஸ்,[56] இயோசினோஃபிலிக் லூக்கோசைட்ஸ்,[57] பேசோஃபிலிக்லூக்கோசைட்ஸ்[58] என்பவை மிகவும் முக்கியமானவை. அவை தம்முள் அளவிலும், உள்ளமைப்பிலும் பல பொருள்களால் கறைப்படுவதிலும் மாறுபடுகின்றன. எக்ஸ் கதிர்கள் முதலில் லிம்ஃபோசைட்ஸ் என்ற அணுக்களின் எண்ணிகையைக் குறையச் செய்கின்றன; பாலிமார்ஃபோ நியூக்ளியர் லூக்கோசைட்ஸ் என்ற அணுக்களின் எண்ணிக்கையை அதிகரிக்கச் செய்கின்றன; ஆனால், சிறிது காலம் கடந்ததும், லூக்கோசைட்ஸ் பெருக்கமடைவது குறைந்துவிடுகின்றது. அதற்கு மாறாக, உடலினுள் புகுத்தப்பெற்ற கதிரியக்கப் பாஸ்வரத்தின் கதிர்வீசல் லிம்போ சைட்ஸ்களை ஒருகுறிப்பிடத்தக்க அளவில் பாதிக்கிறதில்லை; ஆனால், அதற்குப் பதிலாக நிரந்தரமான நிலையில் கணிசமான அளவுக்கு பாலிமார்ஃபோ நியூக்ளியர் லூக்கோசைட்ஸின் எண்ணிக்கையைக் குறைத்துவிடுகின்றது. மேலும், மாஞ்ஞைசட்ஸ் என்ற உயிரணுக்களும் இயோசினோஃபிலிக் லூக்கோ சைட்ஸ் என்னும் உயிரணுக்களும் ஓரளவு பாதிக்கப் பெறுகின்றன; ஆனால், தீவிரமாகப் பாதிக்கப் பெறுவதில்லை. இயோசினோஃபிலிக் லூக்கோ சைட்ஸும், குருதியிலுள்ள செவ்வுடலிகளும் எண்ணிக்கையில் சிறிது அதிகப்படுகின்றன.

லூக்கேமியா நோய்:

இந்தக் குறிப்பிட்ட விளைவு லூக்கேமியா (Leucamia) என்ற நோயின் சில வகைச் சிகிச்சை செய்யும் முறைகளில் கதிரியக்கப் பாஸ்வரத்தைப் பயன்படுத்தி முயலுவதில்

56. Polymorpho nuclear leucocytes.
57. Eosinophic leucocytes. 58. Basophlic leucocytes

அமெரிக்க அறிவியலறிஞர்களை உற்சாகப்படுத்தியது. இம் முயற்சியில் கதிரியக்கப் பாஸ்வரத்தைக்கொண்டு நோயின் குறையறிதலில் குருதி நிறமிபற்றிய அதிகமான மாற்றங்கள் தென்பட்டன. பாஸ்வரம் மிக அதிகமாக எலும்புகளில் படிகின்றது; எலும்பு மச்சையில் (Bone marrow) செவ்வுடலிகள் உண்டாகின்றன என்பதை நாம் நன்கு அறிவோம். எனவே, கதிரியக்கப் பாஸ்வரம் அவ்வுடலிகள் உண்டாதலைப் பாதிக்கக்கூடும் என்பது தெளிவாகின்றது. எக்ஸ் கதிர்கள் (X-rays) பாதிப்பதற்கும் கதிரியக்கப் பாஸ்வரம் பாதிப்பதற்கும் எவ்வளவு வேறுபாடு உள்ளது என்பதைக் காண்கின்றோம்; எக்ஸ் கதிர்கள் எல்லா இழையங்களையும் (Tissues) ஒரே அளவு ஊடுருவிச் செல்கின்றன. இத்துறையில் முதன் முதலாகச் செய்யப்பெற்ற சோதனைகள் அனுகூலமான பலன்களை விளைவித்தனவாகக் கூறப்பெறுகின்றன. எனினும், இரண்டாம் உலகப் பெரும்போர் காரணமாக அவற்றைப் பற்றி அதிகமான தகவல்களை அறியக் கூடவில்லை. குருதி நிறமிகள்பற்றிய மாற்றங்களை அறியும் ஆராய்ச்சி பற்றிய இத்தகைய சோதனைகள் ஜெர்மெனியிலும் மேற்கொள்ளப் பெற்றன.

கதிரியக்க ஈயம்:

மேலும், கதிரியக்க ஈயத்தைக் (Lead) கொண்டு குத்திப் புகுத்தும் சோதனைகள் செய்யப்பெற்றுள்ளன; தொழிலாளர்களிடையே சில சமயம் நேரிடும் ஈயநஞ்சினைப் (Lead poison ing)போக்கவும் மருத்துவத்துறையில் சிகிச்சை செய்வதில் சில முடிவுகளைக் காணவும் இவை மேற்கொள்ளப்பெற்றன. ஓர் உயிரியினுள் ஈயமபுகுத்தப்பெற்றால், அதன்பெரும்பகுதி விரைவில் வெளியேற்றப்பெறுகின்றது; அதில் மிகக் குறைவான எச்சமே கல்லீரலிலும் (Liver) சிறு நீரகங்களிலும் (Kidneys) தங்குகின்றது. ஈயம் புற்று நோயால் பாதிக்கப்பெற்ற இழையங்களில் படிவதில்லை; ஆகவே, புற்றுநோய் சிகிச்சையில் அதனைப் பயன்படுத்துவதற்காக மேற்கொள்ளப்பெற்ற

முயற்சிகள் யாவும் பலனளிக்காமற் போயின. அதற்கு மாறாக, பிஸ்மத் நோயுற்ற இழையங்களில் விரைவாகப் படிகின்றது. எனவே, புற்றுநோயுற்ற இழையங்களை பிஸ்மத்தைக்கொண்டு சிகிச்சை செய்யும் முயற்சி வெற்றிப் பாதையில் கொண்டு செலுத்தக்கூடும்.

செய்முறை மருத்துவச் சிகிச்சை:

ஆனால், இந்த முயற்சிகள் யாவும் இன்னும் தொடக்க நிலையிலேயே உள்ளன; தூய்மையான கருத்து நிலை ஆராய்ச்சி யிலிருந்து (Abstract research) சோதனைகளைக்கொண்ட கண்டு பிடிப்புக்கள் ஏற்படுவதற்கு முன்னர் பல ஆண்டுகள் கடந்து செல்லக்கூடும்; அதிலிருந்து செய்முறை மருத்துவச் சிகிச்சை (Practical therapy) தோன்றுவதற்கு வாய்ப்பு எழஇடமுண்டு. போதுமான அளவு சோதிக்கப்பெறுவதற்கு முன்னர் அம் முறைகளை மானிட உடலில் பிரயோகிக்க முயலுவது மதி யற்ற செயலாகவும் முடியக்கூடும்.

உள்ளூறுப்புக்கள் செயற்படுவதில் ஆராய்ச்சி:

செயற்கைக் கதிரியக்கப் பொருள்களின் சாத்தியப்படக் கூடிய மற்றொரு பயன் உடலிலுள்ள உள்ளூறுப்புக்கள் செயற் படுவதில் மேற்கொள்ளப்பெறும் ஆராய்ச்சியிலாகும். மானிட உடலிலும் பிராணிகளின் உடல்களிலுமுள்ள உள்ளூறுப்புக் களுள் பல ஒருசெயலில் மட்டிலும் பங்குபெறுவதில்லை; அவை சில சமயங்களில் பலசெயல்களில் பங்குகொள்கின்றன. அத்த கைய ஓர் உள்ளூறுப்பு ஊறுபடின், அதன் எச்செயல் தடைப்பட் டுள்ளது, எச்செயல் சாதாரணமாக நடைபெறுகின்றது என் பதை உறுதிப்படுத்துவது சிரமம். ஒவ்வொரு செயலும் பல் வேறு வளர் - சிதை மாற்றங்களுடன் தொடர்பு கொண் டிருப்பதால், உயிரியினுள் குறிப்பிட்ட கதிரியக்கப் பொருள் களைப் புகுத்துவது சாத்தியமாகின்றது; இப்பொருள்கள் சில செயல்களில் பங்கு கொள்ளுவதால், உயிரி அப்பொருள்களை

ஏற்றுக்கொள்கின்றதா அன்றி ஏற்றுக்கொள்ளவில்லையா என்பதை உற்றுநோக்கி அறியலாம். இந்தத் துறை நுணுக்க முறையைக் கையாண்டு தடைப்படாத செயல்களிலிருந்து தடைப்பட்ட செயல்களைக் கண்டறிதல் சாத்தியப்படுகின்றது. இம் முயற்சிகளின்மூலம் ஒரு புதிய மருத்துவக் குறையறி முறை (Diagnosis) தோன்றுதல் கூடும்.

(IX) நிலைத்த ஐசோடோப்புக்களின் பயன்

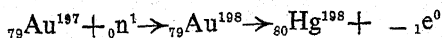
ட்யூடெரானின் பயன்:

பல்வேறு தனிமங்களின் அரிய ஐசோடோப்புக்களுள் பொருண்மை - எண் 2 ஐ உடைய ட்யூடெரான் எனப்படும் ஹைட்ரஜன் ஐசோடோப்பு சிறந்ததொரு பங்கினைப் பெறுகின்றது; காரணம், அதன் பொருண்மைக்கும் சாதாரணமாகக் கிடைக்கும் பொருண்மை - எண் 1 ஐக் கொண்ட அதன் மற்றோர் ஐசோடோப்பின் பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதம் ஏனைய தனிமங்களுடைய ஐசோடோப்புக்களின் பொருண்மைகளின் விகிதத்தைவிட மிக அதிகமாக இருப்பதேயாகும். இக்காரணத்தால்தான், இந்த இரண்டு ஐசோடோப்புக்களின் வேதியியற் பண்புகளில் குறிப்பிடத்தக்க வேற்றுமைகள் (Noticeable differences) காணப்பெறுகின்றன; இப்பண்புகளைக்கொண்டே அவை ஒன்று சேர்ந்திருக்கும்பொழுதுகூட அவற்றை எளிதாக உற்றறிந்து காண முடிகின்றது. ஆகவே, பளுவான ஹைட்ரஜனும் உளவு காட்டும் வழி - துலக்கியாகப் பயன்படுதல்கூடும். எடுத்துக்காட்டாக, கொழுப்பு அமிலங்கள் யாவும் சாதாரணமாகக் காணப்படும் ஹைட்ரஜனுக்குப் பதிலாக பளுவான ஹைட்ரஜனாலானவை: இந்தக் கொழுப்பு அமிலங்கள் ஓர் உயிரியினுள் புகுத்தப்பெற்று அந்த அமிலங்களை உயிரி எவ்வாறு பயன்படுத்துகின்றது என்பது ஆராயப்பெற்றது. நீண்ட சங்கிலித் தொடர் போன்ற கொழுப்பு அமிலங்கள் கல்லீரலிலும் கொழுப்பு இழையங்க

ளிலும் படிகின்றன என்றும், ஆனால் குட்டையான சங்கிலித் தொடர் போன்றவை உடனே செலவழிகின்றன என்றும் இச்சோதனை காட்டியது. சாதாரண ஹைட்ரஜனைக் கொண்டு இச்சோதனையை மேற்கொள்ள இயலாது; ஏனெனில், இத்தகைய கொழுப்பு அமிலங்கள் உயிரியில் எப்பொழுதுமே உள்ளன; ஆகவே, உணவில் நாம் வேண்டுமென்றே புகுத்திய கொழுப்பு அமிலங்களை ஏற்கெனவே உயிரியிலுள்ள அமிலங்களினின்றும் வேறுபடுத்தி அறிதல் இயலாததொன்று. பொருண்மை-எண் 15 ஐக்கொண்ட நைட்ரஜனைக்கொண்டும் பொருண்மை-எண் 18ஐக் கொண்ட ஆக்ஸிஜனைக்கொண்டும் இம்மாதிரியான சோதனைகள் மேற்கொள்ளப்பெற்றன.

பொன் ஐசோடோப்பு:

முடிவாக, பௌதிகத்துறையின் ஒரு பிரிவில்—ஒளியியலில் (Optics)—அணுக்கருஇயக்கத்தில் ஒரே ஒரு பிரயோகத்தை மட்டிலும் கூறுவோம். சைக்ளோட்ரானைக் கொண்டு, பண்டைய இரசவாதிகள் கண்ட பழங்கனவிற்கு மாறான தொன்றை—பாதரசத்தைப் பொன்னுக்கும் மாற்றம் அன்று; பொன்னைப் பாதரசமாக்கும் மாற்றத்தை[59]—முற்றுவிக்க முடிந்தது. பொன் ஒற்றை ஐசோடோப்பைக் கொண்டது; அஃதாவது, அத்தனிமத்திற்கு ஒரே ஒரு நிலைத்த ஐசோடோப்புதான் (${}_{79}Au^{197}$) உண்டு. பொன்னில் ஓர் அணுக்கரு செயல் நிகழும்படி செய்தால், அதில் ஏற்படும் மாற்றங்களை அடியிற்காணும் வாய்பாடு உணர்த்தும்:

$$ {}_{79}Au^{197} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{79}Au^{198} \rightarrow {}_{80}Hg^{198} + {}_{-1}e^{0} $$

இந்த வாய்பாடு ஓர் எலக்ட்ரான் விடுவிக்கப்பெறுவதைக் காட்டுகின்றது; இந்தச் செயலில் பாதரசத்தின் ஏழு நிலைத்த

59. பண்டைய இரசவாதிகள் பாதரசத்தைப் பொன்னுக்கக் கூடும் என்று கனவு கண்டனர்.

ஐசோடோப்புக்களில் ஒன்று உண்டாக்கப்பெறுகின்றது; ஆறு ஐசோப்புக்களும் சாதாரணப் பாதரசத்தில் சம விகிதங்களில் உண்டாகின்றன. இந்தப் பாதரச ஐசோடோப்பு ஒளிபற்றிய ஒரு சில ஆராய்ச்சிகளுக்கு மிகவும் பொருத்தமானது. அஃதாவது, சாதாரணப் பாதரச ஆவி—பாதரச ஐசோடோப்புக்களின் இயற்கையில் கிடைக்கும் கலவை—ஒரு மின்னூட்டத்தால் ஒளிரும்படி செய்யும்பொழுது, தனிப்பட்ட ஐசோடோப்புக்களின் நிறமாலைகள் (Spectra) மிகச் சிறிய அளவில் வேறுபடுகின்றன; அவற்றின் நிறமாலைக் கோடுகள் ஒன்றன்மேல் ஒன்றாகப் பொருந்துகின்றன; இதை நாம் 'நேர்த்தியான அமைப்பு' (Fine structure) என்று குறிப்பிடுகின்றோம். பொன்னிலிருந்து உண்டான பாதரசத்தில் இந்த நேர்த்தியான அமைப்பு காணப்பெறவில்லை; ஆகவே, இந்தக் குறிப்பிட்ட பாதரச ஐசோடோப்பு நிறமாலை காட்டியால் அடையும் அளவுகளுக்கு மிகவும் பொருத்தமானது (டபிள்யூ. இ. வில்லியம்ஸ்[60] என்பார் சில ஆண்டுகட்கு முன்னர் இதனைக் குறிப்பிட்டார்); இதில் சிறந்த நோக்கம் யாதெனில், இயன்றவரை தெளிவான கோடுகளை அடையச் செய்வதே. இந்த இயலின் தொடக்கத்தில் குறிப்பிட்ட நோக்கத்தை — தாழ்ந்த பொருள்களினின்றும் உயர்ந்த பொருள்களை அடைதலை— நினைவுகூர்ந்தால், எல்லாப் பொருள்களின் உருமாற்றத்தைப் பற்றிய கவர்ச்சிகரமான குறிப்பை நாம் வியந்து பாராட்ட முடியும்; குறிப்பிட்ட இந்த எடுத்துக்காட்டில் பாதரசத்தைக் காட்டிலும் பொன்தான் உயர்ந்தது என்பதற்குப் பதிலாக பாதரசமே பொன்னைவிட மிகவும் உயர்ந்தது என்பதை அறிந்து பாராட்ட முடியும்.

இறுவாய்:

இஃதுடன் அணுக்கரு பௌதிகச் செய்முறைப் பிரயோகங்களைப்பற்றிய நமது மதிப்பீடும் நிறைவு பெறுகின்றது.

---

60. டபிள்யூ. இ. வில்லியம்ஸ்-W. E. Williams.

இதுகாறும் நாம் ஆராய்ந்தவை யாவும் ஒரு வளர்ச்சியின் தொடக்க நிலைகளைப்பற்றியவையே; அதன் எதிர்கால முன் னேற்றத்தைப்பற்றி நாம் மதிப்பிட இயலாது. ஆனால் செய்முறைப் பிரயோகங்கள் மட்டிலும் அணுக்கரு பௌதி கத்தின் மிக முக்கியமான கூறு என்று கொள்ள முடியாது; அதனால்தான் இந்தச் சொற்பொழிவுகளில் அவை அதிகமான விவரங்களுடன் ஆராயப்பெறவில்லை; இயற்கை நிகழ்ச்சி பற்றிய அறிவின் செயமுறைப் பயன்கள் ஒரு பிற்காலப் பிரச்சினையாகின்றன. தற்சமயம், நாம் அறியவேண்டிய முக்கியமான செய்தி அணுக்கருவின் அமைப்பை அறிந்து கொள்வதேயாகும். இத்துறையில் இதுகாறும் முற்றுப் பெற்ற செய்திகளைச் சுருக்கமாக எடுத்துரைப்பதும், இன் னும் செய்ய வேண்டியவை யாவை என்பதைக் காட்டுவதுமே இந்தச் சொற்பொழிவுகளின் நோக்கமாகும். இதுகாறும் விவரித்தவை யாவும் கேட்போரிடையேயும் படிப்போரிடை யேயும் மந்திரப் பலன் போன்றனவும் கிட்டுவதற்கு அரியன வாகவும் உள்ள இயற்கை நிகழ்ச்சிகளைப்பற்றிய செய்திகளை உணர்த்துவதாகும்; அதிலும் சிறப்பாக இன்னும் அளக்கப் பெறாத அவற்றின் அகவிதிகள் (Internal laws) சிலவற்றை யும் அறிவிப்பதாகும்.

பின்னிணைப்பு

அணுவாற்றலைத் தொழில் துறையில் கையாளுவது பற்றி ஜெர்மெனியில் நடைபெறும் ஆராய்ச்சி *

அளவற்ற ஆற்றல்;

பத்தாண்டுகட்கு முன்னரே பௌதிக அறிஞர்கள் அடிப்படை அறிவியல் அறிவின் விரிவின்றி அணுவாற்றலைப் பயன்படுத்துவதை முற்றுவிக்க முடியாது என்பதை நன்கு அறிந்திருந்தனர். உயர்-மின் அழுத்த தளவாடத்தின் (Equipment) தொடக்கத்தையும் சைக்ளோட்ரானைக் கண்டறிந்ததையும் தொடர்ந்து ஏற்பட்ட செய்முறை அணுக்கரு-பௌதிகத்தில் வியத்தகு முன்னேற்றம் ஏற்பட்டபோதிலும், 1937-ஆம் ஆண்டுவரையிலும் எந்தப்பௌதிக நிகழ்ச்சியும் கண்டறியப் பெறவில்லை; இந்த முன்னேற்றம் அணுக்கருக்களில் உள்ளுறைந்து கிடக்கும் அளவற்ற ஆற்றலைப் பயன்படுத்துவதற்குரிய வாய்ப்பினைத் தரவில்லை.

புதிய கண்டு பிடிப்பு:

'ஹான், ஸ்ட்ராஸ்மன்'[1] என்ற இருவரால் டிசம்பர் 1938-இல் கண்டறியப் பெற்ற யுரேனியப் பிளவு—அஃ

---

*இக்கட்டுரை Die Naturwissens chaften-லும் Nature லும் (தொகுதி-160 பக்-211. ஆகஸ்டு 16, 1947) வெளிவந்த கட்டுரையின் சிறிதளவு சுருங்கிய மொழி பெயர்ப்பாகும்.

1. Naturwiss, 27, 11 (1939)

தாவது, நியூட்ரான்களால் யுரேனியம் தாக்கப்பெறுங்கால் அது கிட்டத்தட்ட பொருண்மையில் சம அளவுள்ள இரண்டு சில்லுகளாகப் பிரிக்கின்றன என்ற உண்மை—நமக்குக் கிடைக்கும் அணுவாற்றலைப் பயன்படுமாறு செய்தது. இக்கண்டு பிடிப்பைத் தொடர்ந்து ஜோலியட்டும் (Joliot) அவருடன் சேர்ந்து பணியாற்றிய அறிஞர்களும்[2] 1939-ஆம் ஆண்டு இளவேனிற் காலத்தில் பிளவுறும் செயலில் யுரேனிய அணுக்கருவே பல நியூட்ரான்களை வெளிவிட்டு அடிப்படையில் ஒரு தொடர்நிலை இயக்கத்தைச் சாத்தியப்படக்கூடியதாகச் செய்துவிடுகின்றது என்பதை மெய்ப்பிப்பதில் வெற்றி கண்டனர். அதன் பிறகு, அணுக்கருத் தொடர்நிலை இயக்கங்களின் சாத்தியத்தைப்பற்றிப் பௌதிக அறிஞர்களிடையே, சிறப்பாக அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் சொற்போர் நடைபெற்றது; ஜெர்மானிய நாட்டில் 1939-ஆம் ஆண்டுவேனிற்காலத்தில் ஃப்புளுக்கே[3] என்பவரால் டைநேச்சர் விஸன் சேப்டன்[4] என்ற இதழில் ஆராயப்பெற்றது. மெய்ட்னெர், பிரிஸ்ச்[5] என்ற இரண்டு அறிஞர்கள் ஏற்கெனவே பிளவுறும் செயலில் அளவற்ற ஆற்றல் விடுவிக்கப் பெறுகின்றது என்பதில் கவனத்தைத் திருப்பினர்.

ஜெர்மானிய நாட்டில் அணு ஆராய்ச்சி நிலை:

1933-க்கும் 1939-க்கும் இடைப்பட்ட காலத்தில் ஜெர்மானிய நாட்டில் அணுபௌதிகம்பற்றிய பிரச்சினைகளில் பொது மக்கள் காட்டிய அக்கறை, அவைகளில் வேறுநாடு

---

2. Nature, 143, 470 (1939).

3. ஃப்புளுக்கே-Flugge, Naturwiss, 27, 402 (1939).

4. டைநேச்சர் விஸன் சேப்டன்-Die Naturwissen chaften.

5. மெய்ட்னெர், பிரிஸ்ச்: Meitner and Frisch, Nature, 143, 239 (1939).

களில், குறிப்பாக அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகள், பிரிட்டன், ஃபிரான்ஸ்ஆகிய நாடுகளில், பொதுமக்கள் காட்டிய அக்கறை யுடன் ஒப்பிடுமிடத்து மிகமிகக் குறைவாகவே இருந்தது என்றே சொல்ல வேண்டும். எனவே, அமெரிக்காவில் 1939-க்கு முன்னர் உயர்-மின் அழுத்தப் பொறிகளும் சைக் ளோட்ரான்களும் தளவாடங்களாக அமைந்த நவீன ஆராய்ச்சி ஆய்வகங்கள் தொடர்ந்தாற்போல் தோன்றிக் கொண்டிருந்த பொழுது, ஜெர்மானிய நாட்டில் தேவை யான அளவு கருவிகளைக் கொண்ட இரண்டே இரண்டு ஆய்வகங்கள்தாம் இருந்தன; அவை இரண்டும் அரசாங்கத் தினால் ஆதரவு அளிக்கப்பெறவில்லை; ஆனால் அவற்றை கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் கெசல்ஸ்சேப்ட்[6] என்ற தனியார் நிறு வனம்தான் அமைந்தது. இந்த இரண்டு ஆராய்ச்சி நிலையங் களும் ஹெய்டெல்பெர்க் (Heidelberg), பெர்லின்-டாலெம் (Berlin-Dahlem) என்ற இடங்களில் 'கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் ஆராய்ச்சி நிலையம்' என்ற பெயரில் அமைந்திருந்த நிலையங் களே; ஒவ்வொன்றிலும் அணுக்கரு ஆராய்ச்சிக்கேற்ற ஒரு சிறிய உயர்-மின் அழுத்தக் கருவி இருந்தது. அத்தகைய வேலைக்கு ஒரு சைக்ளோட்ரான் இல்லாக்குறை இருந்தது— ஹெய்டெல்பெர்க் சைக்ளோட்ரான் தனியார் நிதிகளி லிருந்தே அமைக்கப்பெற்றது; அது முக்கியமாக மருத்துவ ஆராய்ச்சிகளுக்காகவே நிறுவப்பெற்றது; அது 1938-இல் தான் தொடங்கப்பெற்றது; 1944-க்கு முன்னர் அது சோதிக் கப்பெற முடியவில்லை. போர் ஏற்பட்டவுடன் ஆட்சியாள ரிடம் எழுந்த அக்கறை அணுக்கரு ஆராய்ச்சிக்கு விரிவான வசதிகளை அனுமதிப்பதற்குக் காரணமாயிற்று.

தொழில் துறையில்:

தொழில் துறைவில் அணுவாற்றலைப் பயன்படுத்துதல் பற்றிய சிறப்பான ஆராய்ச்சிகளை அடியிற்காணும் அறிக்கை

---

6. கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் கெசல்ஸ் சேப்ட்-Kaiser Wilhelm Gesellschaft.

குறிப்பிடுகின்றது. ஏறக்குறைய தொழில்துறைப் பிரச்சினை யுடன் நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டெழுந்த முற்றும் அறிவியல் (Purely scientific) பிரச்சினைகள் ஈண்டு ஆராயப் பெறு; அவை பின்னுல் வரக்கூடிய எப்.ஐ. ஏ. டி. மதிப்புரை யில் * ஃபுளுக்கே, போத்தே[7] என்ற அறிஞர்களால்குறிப்பிடப் பெறும். எனினும், நான் போர்க்கால முழுவதும் கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் வேதியியல் ஆராய்ச்சிநிலையத்தில் ஹான் என்பா ராலும் அவருடன் சேர்ந்து பணியாற்றிய அறிஞர்களாலும் மேற்கொள்ளப்பெற்ற விரிந்த வேதியியல் ஆராய்ச்சிகளைக் குறிப்பிடலாம்; இவற்றுள் பெரும்பான்மையானவை ஆராய்ச்சி இதழ்களில் வெளியிடப்பெற்றுள்ளன.

தொழில் துறை ஆராய்ச்சிக்காக ஒரு குழு:

போர் தொடங்கின அதே காலத்திலேயே அணு ஆராய்ச்சிக்காக* அமெரிக்க இராணுவ அதிகாரத்தினரால்

---

* ஜெர்மானிய அறிவியலின் எப்.ஐ. ஏ. டி. மதிப்புரை கள், **1939—1946:** இவை போர்க்காலத்தில் ஜெருமானிய நாட்டில் இயற்கை அறிவியலிலும் பயன்முறை அறிவி யலிலும் ஏற்பட்ட முன்னேற்றம்பற்றிய அதிகார பூர்வ மான வரலாற்றுக் குறிப்புக்களைத் தருபவை. இந்த மதிப்புரைகள். பிரிட்டன், அமெரிக்கா, ஃபிரான்ஸ் நாடுகளின் (தொழில்துறைபற்றிய) வெளித்துறை நுண் மதிக் கழகங்களின் (Field Intelligence Agency) (Technical) கூட்டுமுறையினுல் மேற்கொள்ளப்பெற்றன. இதன் அள வான பதிப்பு 1947-இன் இறுதிக்கு முன்னர் விநியோகத் திற்குத் தயாராக இருக்கும் என்று எதிர்பார்க்கப்பெறு கின்றது.

7. போத்தே-Bothe.

*ஸ்மித் அறிக்கை, பக்கம் **27:** அரசினரின் தொடக்க முயற்சிகள். உண்மையில், அமெரிக்க ஐக்கிய நாட்டு அரசி னரின் நிதி முதன் முதலாக 1939-40 (பக்கம்-28) ஆண்டின் தொடக்கத்தில்தான் பயன்படுத்தப்பெற்றது; ஆனுல், அறி வியலறிஞர்களும் அமெரிக்கக் கடற்படைத் துறையினரும் சேர்ந்து மேற்கொண்ட முதல் கலந்தாய்தல் **1939**-மார்ச்சுத் திங்களில்தான் நடைபெற்றது.

நிதிகள் ஒதுக்கப்பெற்றுள்ளன என்ற செய்தி ஜெர்மானிய நாட்டிற்கு எட்டியது. இங்கிலாந்தும் அமெரிக்க நாடுகளும் அணு ஆயுத வளர்ச்சியினை மேற்கொள்ளக் கூடும் என்ற நோக்கத்தை யொட்டி, ஹீரஸ்வாபனெம்ட்[8] என்பார் ஸ்குயூமென்[9] என்பாரின் தலைமையின்கீழ் ஒரு தனி ஆராய்ச்சிக் குழுவினை அமைத்தார்; தொழில் துறையில் அணுவாற்றலை எவ்வாறு பயன்படுத்துவது என்பதை ஆராய்வதுதான் இவருடைய பணியாகும். 1939-ஆம் ஆண்டு செப்டம்பரில் தொடர்புள்ள துறைகளிலுள்ள பல அணுக்கரு பௌதிக அறிஞர்களுக்கும் நிபுணர்களுக்கும் டைப்னெர்[10] என்பாரின் ஆட்சிப்பொறுப்பின்கீழ் இப்பிரசினை ஆராய்ச்சிக்காகத் தரப்பெற்றது. நியமனம் பெற்றவர்களுள் போத்தே[11] குளூசியஸ்[12], டோபல்[13], கைகர்[14], ஹான்[15], ஹார்ட்டெக்[16], ஜூஸ்[17], வி. வெய்சேக்கர்[18] என்பவர்களின் பெயர்களை நான் குறிப்பிட்டாக வேண்டும். ஸ்குயூமெனின் கட்டளையால் பெர்லின்-டாஹெலம் என்ற இடத்திலுள்ள கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் பௌதிக ஆராய்ச்சி நிலையம் புதிய ஆராய்ச்சித் திட்டத்தின் அறிவியல் மையமாக ஆக்கப்பெற்றது. அங்ஙனமே, அந்த ஆராய்ச்சி நிலையம் ஹீரஸ்வாபனம்ட்டு என்பாரின் ஆட்சியின்கீழ் அமைந்தது; இது கெய்ஸர்வில்ஹெல்ம் கேசெல்ஸ் சேப்ட்டின் உரிமைகளை இழக்கச்செய்தது; ஆகவே,

---

8. ஹீரஸ் வாபனெம்ட்-Heeres Waffenamt
9. ஸ்குயூமென்-Schumann.
10. டைப்னெர்-Diebner.
11. போத்தே-Bothe.
12. குளூசியஸ்-Clusius.
13. டோபல்-Dopel.
14. கைகர்-Geiger.
15. ஹான்-Hahn.
16. ஹார்ட்டெக்-Harteck.
17. ஜூஸ்-Joos.
18. வி. வெய்சேக்கர்-V. Weizsacker.

அதன் இயக்குநர் டெபி[19] என்பார் வெளியேறுவதற்கும் அது காரணமாக அமைந்தது; டச் குடிமகனாக விருந்த டெபி ஜெர்மானிய இராணுவ ஆட்சியின்கீழ் தொடர்ந்து பணி யாற்ற முடியாது போய்விட்டது.

சாத்தியப்படக்கூடிய இரண்டு வழிகள்:

1939-இல் இலையுதிர்காலத்தில் நடைபெற்ற முதல் மாநாடுகளின் முடிவினால், அணு ஆற்றலைப் பயன்படுத்து வதில் இரண்டு வழிகள் சாத்தியப்படக் கூடியவை என்பது புலனாயின. சாதாரண யுரேனியத்திலிருந்து யுரேனியத்தின் அரிய ஐசோடோப்பினைப் (யு—235) பிரித்தெடுப்பதில் நாம் முயற்சி செய்யலாம். போரின் (Bohr) கொள்கையின் அடிப் படையில் அமைந்த வாதங்களைப் பின்பற்றி இந்த ஐசோ டோப்பு மெதுவான-நியூட்ரானின் இயக்கத்தை முதன்மை யாகப் பயன்படுத்திக் கட்டுப்பாடுள்ள ஆற்றலை உண்டாக்கு வதிலும், விரைவான—நியூட்ரானின் இயக்கத்தை நேரடி யாகப் பயன்படுத்திக் குண்டுகளில் வெடி பொருளாகவும் உடனே பயன்படக் கூடியதாகச் செய்யப்பெறலாம்; எனினும், யு-,235ஐப் பிரித்தல் ஒரு பிரச்சினையாகவே இருந் தது; இதற்குப் பொறியியல் துறைநுணுக்க முறைகள் மிகமிகத் தேவையாக இருந்தன. இரண்டாவதாக, நாம் அணுக்கருப் பிளவில் உண்டாகும் நியூட்ரான்களை உட்கவரா மல் அவற்றின் வேகத்தைத் தணிக்கவல்ல ஒரு பொருளுடன் சாதாரண யுரேனியத்தைக் கலக்கலாம். மெதுவாகவுள்ள இந்த நியூட்ரான்கள் யு-235ஐப் பிளவுறச் செய்து தொடர் நிலை இயக்கம் நிலைபெற்று நடைபெறச் செய்கின்றன. யு-238-ஆல் உறிஞ்சப்பெறும் அநுநாத மண்டலத்தை விரைவில் கடப்பதற்காக நியூட்ரான்களின் விரைவான வேகத் தளர்ச்சி (Daceleration) வேண்டப்பெறுகின்றது; ஏனெனில், அவை உறிஞ்சப்பெற்றுவிட்டால், அவை

---

19. டெபி-Debye.

தொடர்நிலை இயக்கத்திற்கு இல்லாது போய்விடும். இந்த ஏற்பாட்டினால் நேரிடும் நன்மை யாதெனில், இவ்வாறு உண்டாகும் வெப்பத்தினால் தொடர்நிலை இயக்கம் கட்டுப்படுத்தப்பெறக்கூடும்; இதனால் தொழில் துறையில் பயன்படக் கூடிய அளவுகளில் வெப்பத்தினையும் பிரித்தெடுத்துக் கொள்ளலாம்.

ஹார்ட்டெக்கின் ஆராய்ச்சி:

இங்ஙனம் தனி அறிவியல் ஆராய்ச்சியின் இரண்டு வழிகள் தெளிவாக்கப்பெறுகின்றன: முதலாவது, ஐசோடோப்புக்களைப் பிரித்தெடுப்பதில் செம்மையுற்ற முறைகள் வளர்ச்சி பெற வேண்டும்; இரண்டாவதாக, வேறொரு வழியில் இது நிறைவேறக் கூடியதா என்று அறுதியிடுவதற்குச் சாத்தியப்படக்கூடிய பொருள்களின் ஒரு வீச்சின் திறனுள்ள குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புக்களை அளந்து காணல் வேண்டும். ஹார்ட்டெக் என்பார் 1939-ஆம் ஆண்டு இளவேனிற் காலத்தில் இரண்டாவது திட்டப்படி யுரேனியத்தினின்றும் பிரிந்துஇருக்கவல்ல 'தணிப்பான்' (Moderator) என்ற ஏற்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால் நன்மை விளையக் கூடும் என்பதைக் கவனத்திற்குக் கொண்டு வந்தார். இந்த யோசனை அன்றுவரை அறியப்பெற்றுள்ள தணிப்பானாகப் பயன்படும் பொருள்களின் திறனுள்ள குறுக்கு வெட்டு பரப்புக்களுடன், தணிப்பானும் யுரேனியமும் சேர்ந்த ஒரு படித்தான கலவை (Homogeneous mixture) ஏற்பாட்டினாலோ, அல்லது உள்ளிடப் பிரிவைக் கொண்ட (எடுத்துக்காட்டு: அடுக்குகள்)தொரு ஏற்பாட்டினாலோ அதிக அளவு வசதியான ஆற்றல் உற்பத்தியினைத் தரக்கூடுமா என்ற கொள்கையளவுள்ள ஆராய்ச்சிகளை எழுப்பிவிட்டது. 1939-ஆம் ஆண்டு டிசம்பர் மாதம் ஹெய்ஸென்பெர்க்[20] என்பாரால் தற்காலிகமாக மேற்கொள்ளப்பெற்ற கொள்கையளவிலுள்ள

20. ஹெய்ஸென்பெர்க்-Heisenberg

ஆராய்ச்சி இந்த முடிவிற்குக் கொண்டு செலுத்தியது: அஃ தாவது, சாதாரண நீர் ஒரு தணிப்பானாகப் பயன்படுவதற்கு உகந்ததாக இராவிடினும், நீரினைக் (D_2O) கொண்டோ, அன்றி மிகவும் தூய்மையான கரியினைக் கொண்டோ ஆற் றலை நேர் அளவில் (Positive amount) உண்டாக்குவது சாத் தியப்படுகின்றது; தணிப்பானும் யுரேனியமும் அடுக்குகளில் அமைக்கப் பெற்ருல்தான் இது முற்றுப்பெறும். எனினும், இந்த ஏற்பாட்டிற்கு மேற்கொள்ளப்பெறும் பொருள் கள் மிகமிகத் தூய்மையானவையாக இருக்க வேண்டும். அதே சமயத்தில் ஆற்றலை விளைவிப்பதற்கு ஒரு குறிப் பிட்ட மீச்சிறு கருவியின் பருமனும் இன்றியமையாதது என்பதும் தெளிவாகப் புலனாகியது. என்ருலும், குறைந்த பருமனுள்ள கருவியினைக் கொண்டே, கருவி பொருத்தமான அளவுல் பெருக்கமடையச் செய்யப்பெற் ருல் ஆற்றல் உற்பத்தி நடைபெறுமா என்பதைத் தீர்மானிப் பதற்கும் சாத்தியப்படுகின்றது. எனவே, இத்தகைய ஒரு சிறிய கருவிக்கு ஓர் அகவயமாக அமைந்துள்ள மூலத்தி லிருந்து நியூட்ரான்களைத் தந்தால் அடுக்கு ஏற்பாடு ஆற்றல் உற்பத்திக்குச் சௌகரியமாயிருக்கும்பொழுது மூலத்திலி ருந்து கிடைக்கும் நியூட்ரான்களைவிடப் புறப்பரப்பி லிருந்து நியூட்ரான்கள் அதிகமாகத் தப்பிப் போக வேண்டும்; இந்த ஏற்பாடு அசௌகர்யமாயிருக்கும் பொழுது மூலத்திலிருந்து வரும் நியூட்ரான்களைவிடக் குறைவான நியூட்ரான்களே தப்பிப் போகின்றன. ஒரு நியூட்ரான் மூலத் திலிருந்து தொடர்ந்து தரப்பெறும் இந்தச் சிறிய மாதிரிக் கருவிகள் 'நியூட்ரான் புகுத்தப்பெற்ற அடுக்குகள்'[21] என்று வழங்கப்படுகின்றன. அடுக்கிலிருந்து தப்பிப் போகும் நியூட் ரான்களின் எண்ணிக்கை மூலத்தினின்றும்தரப்பெறும் நியூட் ரான்களின் எண்ணிக்கையுடன் கொண்டுள்ள K என்ற விகி

21. நியூட்ரான்கள் புகுத்தப்பெற்ற அடுக்குகள் - Neutron injected piles

தம் அந்த அடுக்கினைக்குறிப்பிடுவதற்குப்பயன்படுத்தக்கூடும். இந்த K, Iஐ விடக் குறைவாக இருக்கும்பொழுது (K<I), ஆற்றல் உற்பத்திக்கு இந்த ஏற்பாடு உதந்ததல்ல; K, I ஐ விட அதிகமாக இருக்கும்பொழுது (K>I) அடுக்கினைப் பெருக்கமடையச் செய்துகொண்டு ஆற்றல் உற்பத்தி செய்யப்பெறும்.

போத்தே முதலியோரின் அளவீடுகள்:

*1940*இல் சிறப்பாக போத்தே என்பாராலும் அவருடன் இணைந்து பணியாற்றிய ஆராய்ச்சியாளர்களாலும், டோப்பெல், ஹெய்ஸென்பெர்க் என்ற அறிஞர்களாலும் மிக முக்கியவான திறனுள்ள குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புக்களின் அளவீடுகள் மேற்கொள்ளப்பெற்றன. அதே சமயத்தில். தொடர்நிலை இயக்கத்திலிருந்து உண்டாக்கும் விளைவுப் பொருள்களின் பொருண்மைகளையும் ஆற்றல்களையும்பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் ஜெண்ட்ஸ்ச்கே[22] ஃபிராங்கல்[23] என்ற அறிஞர்களாலும்[24] ஃபிளாம்மாஸ் ஃபீல்டு[25] பி. ஜென்ஸென்,[26] ஜெண்ட்டர்[27] என்ற அறிஞர்களாலும்[28] தொடர்ந்து மேற்கொள்ளப் பெற்றன; நியூட்ரான்களால் உண்டான நிறமாலையைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் கிர்ச்னெர்[29] வி.ட்ரோஸ்டே[30] போத்தே,

---

22. ஜெண்ட்ஸ்கே - Jentschke.
23. பிராங்க்ல் - Prankl.
24. Z. Phys. *119, 696 (1942).*
25. ஃபிளாம்மர்ஸ்ஃபீல்டு - Flammersfield.
26. பி. ஜென்ஸென் - P. Jensen.
27. ஜென்ட்னர் - Gentner.
28. Z. Phys 120 *1450 (1943).*
29. கிர்ச்னெர் - Kirchner.
30. வி. ட்ரோஸ்டே - V. Droste.

ஜெண்ட்னர் என்ற அறிஞர்களால்[31] மேற்கொள்ளப்பெற்றன. யு—238 இன் அநுநாத எல்லையில் நிட்யூரான்கள் உட்கவரப் பெறும் கொள்கை ஃபுளுக்கே, ஹெய்ஸென்பெர்க் என்ற அறிஞர்களால் நிலைநிறுத்தப்பெற்றது. தொழில்துறையைப் பொறுத்தவரையில், அடிற்காணும் முடிவுகள் மிகவும் முக்கியமானவை: கன நீரின் உறிஞ்சும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு மிகக் குறைவாக இருந்தது; ஆகவே ஒரு யுரேனிய அடுக்கு அமைப்பில், அது நிச்சயம் பயன்படத் தக்கதாக இருந்தது (டோபலும் ஹெய்ஸென்பெர்க்கும்). பெரிய அளவுகளில் சோடியம் யுரேனேட்டைக் கொண்டு வி. ட்ரோஸ்டே என்பாரால் மேற்கொள்ளப் பெற்ற ஆராய்ச்சியும், ஹார்ட்டெக் என்பாராலும் ஹாம்பெர்க்கு குழுவினராலும்[32]—குரோத்[33] எச். ஜென்சென்[34], நௌர்,[35] சூஸ்[36] ஆகியோர் அடங்கியது—திடப்பொருள் வடிவமாகவுள்ள கரியமிலவாயுவில் கலந்துள்ள U_3O_8, இன் மீது நிகழ்த்தப்பெற்ற ஆராய்ச்சியும் யுரேனியமும் தணிப்பானும் அமைந்த சில அமைப்புகளிலுள்ள நியூட்ரான்களின் செறிவுபற்றிச் சில முதல் அளவைகளைத் தெரிவித்தன. 1940—ஆம் ஆண்டு இலையுதிர்காலத்தில், U_3O_8, பாரஃபின் மெழுகு ஆகியவற்றின் அடுக்குகளாலான (Layers) முதல் அடுக்கு பெர்லின் டாலெம் என்ற இடத்தில் அமைக்கப் பெற்று அதன் பண்புகள் அளவிடப் பெற்றன. (வர்ட்ஸ்[37] ஃபிஸ்சொ[38] பாப்[39]). இந்த மாதிரி அடுக்கில், எதிர்பார்க்கப்

---

31. Z. Phys. 119, 568, (1942)
32. ஹாம்பெர்க் குழு - Hamburg group.
33. குரோத் - Groth.
34. எச். ஜென்சென் - H Jensen.
35. நௌர் - Knauer.
36. சூஸ் - Suss.
37. வர்டஸ் - Wirtz.
38. ஃபிஸ்செர் - Fischer.
39. பாப் - Bopp.

பெற்றது போலவே K, I ஐ விடக் குறைவாகவே இருந்தது (K <I); அஃதாவது, அந்த அமைப்பு ஆற்றல் உற்பத்திக்குப் பொருத்தமற்றிருந்தது. எனினும், அதன் பிறகு U_3O_8யும் கனநீரையும் ஒன்றுவிட்டு ஒன்று அடுக்குகளாகக் கொண்டு அமைக்கப்பெற்ற அடுக்குகளுக்குப் பயன்படக்கூடிய மிக உயர்ந்த எடு கோள்களைத் (Data) தந்தது.

வெய்சேக்கரின் ஆராய்ச்சி:

1940—ஆம் ஆண்டு கோடைக் காலத்தில் **வி.** வெய்சேக்கர் என்பார் ஒரு யுரேனிய அடுக்கு யுரேனியப் பிளவுறும் விளைபொருள்களைத் தருவதைத் தவிர சதா யுரேனிய ஐசோடோப்பையும் (யு—*239*) அதன் கோவையிலமைந்த உரு மாற்றப் பொருள்களையும் உற்பத்தி செய்துகொண்டே இருக்கும் என்பதைக் காட்டினார்; அன்றியும், அவர் இந்த உரு மாற்றப் பொருள்கள் கொள்கையளவில் நியூட்ரான் பிளவுறுதலைப் பொறுத்தவரையில் (Neutron fission) யு—*235*இன் பண்புகளைப்போன்ற பண்புகளைப் பெற்றிருக்க வேண்டும் என்றும் குறிப்பிட்டார். ஆகவே, பீட்டா - சிதைந்தழிதல் எண்—**93** அல்லது **94** அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட எண்ணை யுடைய ஒரு தனிமத்தில் முடிவு பெற்றதா என்பது ஆராய்ச்சிக்குரியதாக இருந்தது: ஏனெனில் ஜெர்மானிய நாட்டில் யாதொரு சைக்ளோட்ரானும் இல்லாததால் இந்தத் தனிமங்களின் அணுக்கரு பண்புகளையோ, அல்லது வேதியியல் சிறப்பியல்புகளையோ, சோதித்தறிவதற்குத் தேவையான அளவுகளில் இப்பொருள்களைத் தயார் செய்ய முடியவில்லை. எனினும், வி. வெய்சேக்கரின் ஆராய்ச்சியிலிருந்து செய்முறை விவரங்கள் உறுதிப்படுத்தக் கூடியனவாக இல்லாவிடினும், ஆற்றலை விளைவிக்கும் அடுக்கு அணு வெடி பொருள் உற்பத்திக்குப் பயன்படுத்தப்பெறலாம் என்று ஓரளவு புலனாயிற்று. உண்மையிலேயே அமெரிக்காவில் இம்முறை பேரளவில் மேற்கொள்ளப் பெற்றிருந்தது. அமெரிக்க அடுக்குகள் யு—**239**இன் உருவமாற்றப்

பொருளாகப் புளுட்டோனியம் என்ற தனிமத்தைத் ($_{94}Pu^{239}$) தருகின்றன; இந்தப் புளுட்டோனியம் அணுகுண்டு உற்பத்தியில் பயன்படுத்தப் பெறுகின்றது.

முக்கியமான தொழில் துறைப் பிரச்சினைகள்:

இந்த அறிவியல் ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து உடனே முக்கியமான தொழில்துறைப் பிரச்சினைகள் எழுந்தன. மிகத் தூய்மையான U_3O_8 வை உண்டாக்கும் பணி ஹீரஸ்வாபெனம்ட் என்பாரால் ஆயர் - கெசல்ஸ் சாப்ட்[40] என்பாரிடம் ஒப்படைக்கப்பெற்றது. அஃதுடன் ஒத்ததாகவுள்ள உலோகப் பொடியை வார்க்கும் பொறுப்பு அதன் பின்னர் ஃபிராங்ஃபர்ட்[41]டிலுள்ள டிகுஸா[42] என்பாருக்குத் தரப்பெற்றது. ஒரு யுரேனிய அடுக்கு அமைப்பதற்கு மிகமிக முக்கியமாகவுள்ள கனநீர் உற்பத்தியைப்பற்றிய திட்டம் நார்வே[43]யில் ர்ஜுகான்[44] என்ற இடத்திலுள்ள நார்ஸ்க் ஹைட்ரோ உற்பத்திசாலையில்[45] ஆயத்தம் செய்யப்பெற்றது. ஹார்ட்டெக் என்பார் சூஸ், எச். ஜென்சன், வர்ட்ஸ், ஆகியோருடன் சேர்ந்து பல திட்டங்களை வளரச் செய்தார்; இவை ர்ஜுகான் என்ற இடத்தில் இதுகாறும் மாதம் ஒன்றுக்கு 10-20 லிட்டர்கள் கனநீர் விளைவித்ததற்கு மேலாக உற்பத்தியை உண்டாக்கின. மேலும், ஹார்ட்டெக் என்பாரும் குளூஸியஸ் என்பாரும் ஜெர்மனியில் கனநீர் உற்பத்தி பற்றிய விவரங்கள் அடங்கிய திட்டங்களைத் தயாரித்தனர். நார்ஸிக் ஹைட்ரோ உற்பத்திசாலையில் மேற்கொள்ளப்

---

40. ஆயர் - Auer-Gesellschaft.
41. ஃபிராங்ஃபர்ட் - Frankfurt..
42. டிகுஸா - Degussa.
43. நார்வே - Norway.
44. ர்ஜுகான் - Rjukan.
45. நார்ஸ்க் ஹைட்ரோ உற்பத்திசாலை - Norsk Hydro factory.

பெற்ற சீர்திருத்தங்களின் பயனுக, இறுதியாக 1942-ஆம் ஆண்டு கோடைக்காலத்தில் மாதம் ஒன்றுக்குக் கிட்டத் தட்ட 200 லிட்டர்கள் அதிகரிக்கச்செய்ய முடிந்தது. மேலும், ஹீரஸ்வாபனெம்ட் என்பாரின் ஆணையின்பேரில் மிகவும் தூய்மையான கரியை உற்பத்தி செய்வதற்கு முயற்சிகள் எடுக்கப்பெற்றன. எனினும், அச்சமயத்தில் மிக உயர்ந்த தொழில் நுணுக்கமான மின்சாரப் பென்சில் கரியைவிடத் தூய்மையாக இருக்கவேண்டும் என்ற முயற்சிகள் தோல்வி யுற்றன.

யுரேனியத் திட்டத்தில் முக்கியமான முன்னேற்றம்:

1941 - ஆம் ஆண்டில் யுரேனியத் திட்டத்தில் மிக முக்கியமான முன்னேற்றம் காணப்பெற்றது. தொடக்கத் தில் சில எதிர்மறை விளைவுகள் பதிவு செய்யப்பெற்றன. எனவே, வாயு நிலையிலுள்ள UF_6 ஐப் பயன்படுத்திக் கிளாஸி யஸ் - டிக்கெல் வெப்பம் பரவும் முறையினுல் யு-235 இன் அதிகப்படுத்துதல் சாத்தியப்படாதிருந்தது (பிளெய்ஸ்ச்மன், ஹார்டெக், குரோத்). மிகத் தூய்மையான மின்சார - பென் சில் கரியின் நியூட்ரான்களை உறிஞ்சும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு ஹெய்டெல்பெர்க்கிலுள்ள கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் அறுதியிடப்பெற்றது (போத்தே, ஜென்சன்)[46]; இந்த முடிவுகளிலிருந்து தூய்மையான கரியின் பண்பு மதிப்பிடப்பெற்றது. அக்காலத்தில் கிடைத்துள்ள தகவற்படி, மிகத் தூய்மையான கரியும் யுரேனிய அடுக்கு அமைப்பதற்குப் பொருத்தமற்றிருந்ததாகக் காணப்பெற் றது; ஆனுல், அமெரிக்க நாடுகளில் கரி மிக வெற்றிகரமாக'ப் பயன்பட்டு வந்தது என்பது அனைவருக்கும் தெரியும். வாணி கப் பென்சில் கரியிலுள்ள வேதியியல் மாசுகளைக் (எடுத்துக் காட்டாக, ஹைட்ரஜன் அல்லது நைட்ரஜன்) போதுமான

46. Nature. 143. (1939)

அளவு ஆராயாததலால் ஹெய்டெல் பெர்க் முடிவுகள் தவருகப் போயிற்ரு, அல்லது கொள்கையின் குறைபாடுகளால் அவ்வாறு நேர்ந்தனவா என்பதை அச்சமயம் மதிப்பிட முடியாதிருந்தது. எப்படியிருந்தபோதிலும், பென்சில் கரி, பெரிலியம் ஆகியவற்றின் மீது செய்யப்பெற்ற ஹெய்டெல் பெர்க் சோதனைகள் (பூன்பெர், போத்தே[47]) பின்னர் பெர்லின் - டாலெம் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் செய்யபெற்ற சோதனைகளுடன் சேர்ந்து தூய்மையான கரியும் தூய்மையான பெரிலியமும் ஒரு யுரேனிய அடுக்கின் புறக்கவசமாகப் பயன்படுவதற்கு மிகவும் பொருத்தமானவை என்பதைத் தெளிவாக்கின; காரணம், அவற்றின் தாழ்ந்த உறிஞ்சும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும் உயர்ந்த பிரதிபலிக்கும் திறனும் அடுக்கிலிருந்து தப்பிப்போகும் நியூட்ரான்கள் பரவுதலைக் கட்டுப்படுத்துகின்றன; இதனுல் அதன் மீச்சிறிய அளவுகளையும் குறைத்துவிடுகின்றன.

யுரேனியத்தையும் கன நீரையும் கொண்டு செய்யப்பெற்ற சோதனை:

1941-ஆம் ஆண்டு கோடைக்காலத்தில் யுரேனியத்தையும் கனநீரையும் கொண்டு இயற்றப்பெற்ற நியூட்ரான் புகுத்தப்பெற்ற அடுக்கின்மீது டோப்பெல், ஹெய்ஸென் பெர்க்) செய்யப்பெற்ற சோதனைகளால் 150 லிட்டர் கன நீர் கிடைத்தது. யுரேனியமும் கனநீரும் மையத்தில் நியூட்ராட் மூலத்தை வைத்து ஒன்றுவிட்டு ஒன்ருகக் கோள அடுக்குகளில் அமைக்கப்பெற்றன. முதன் முதலாகப் பயன் படுத்தப்பெற்ற $U_3 O_8$ ஆக்ஸைடு தப்பிப்போகும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கையில் மிகச் சிறிய அளவு அதிகரிக்கச் செய்தது; இதனைக்கொண்டு 1 ஐ விட, K அதிகமாகவுள்ளது ($K > 1$) என்று தெளிவான முடிவிற்கு வருதல் இயலாது. எனி

---

47. Z. Phys. 119,696 (1942) ஃபூன்பெர் - Funfer, போத்தே - Bothe.

னும், தூய்மையான யுரேனியத்தைப் பயன்படுத்தியதில் மிகத் தெளிவான முன்னேற்றத்தைக் காண முடிந்தது; நியூட்ராட்களின் எண்ணிக்கையில் ($K>1$) உண்மையான அதிகரிப்பு ஏற்படுகின்றது என்ற ஐயத்திற்கு இனிமேல் இடமேஇல்லை (1942 - ஆம் ஆண்டு பிப்ரவரி அல்லது மார்ச்சு மாதத்தில்). தொழில் துறையில் அணுவாற்றலைப் பயன் படுத்துதல் சாத்தியப்படக்கூடியதுதான் என்பதற்கும், லீப்ஸிக் கருவியைச் சாதாரணமாகப் பெருக்கமடையச் செய்தே ஆற்றல் தரும் யுரேனிய அடுக்கினை உண்டாக்க வேண்டும் என்பதற்கும் இங்கு இதுவே ஒரு மெய்ப்பிப்பாக அமைந்தது.

ஆட்சிமுறை மாற்றங்கள்:

அதே சமயத்தில், முக்கியமான ஆட்சிமுறை மாற்றங்கள் நடைபெற்றுக்கொண்டிருந்தன. 1942-ம் ஆம் ஆண்டு பிப்ரவரி 26 இல் பெர்லினிலுள்ள ரெய்ச்ஸ் ஃபோர்ச்சுங்ஸ்ரட்[48] கட்டடத்தில் நடைபெற்ற ஒரு கூட்டத்தில் அன்று வரையிலும் கண்ட முடிவுகள் ரஸ்ட்[49] என்ற இடத்திலுள்ள கல்வி அமைச்சருக்கும் பல்வேறு போர்க்கால ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கும் அறிவிக்கப்பெற்றன. யுரேனியத் திட்டம் ஹீரஸ்வாப னெம்ட்டிலிருந்து ரெய்ச்ஸ் ஃபோர்ஸ்சுங்க்ஸ்ரட்டின் கட்டுப் பாட்டிற்கு மாற்றப்பெற்றது; அப்பொழுது எஸௌ[50] என்ற இடத்திலுள்ள பௌதிக - தொழில்துறை ஆராய்ச்சி நிலையத்தின் தலைவராக இருந்தவர் அத்திட்டத்தின் பொறுப் பாள ராக்கப்பெற்றார். 1942 - ஆம் ஆண்டு ஜூன் மாதம் 6-ஆம் நாள் பெர்லினிலுள்ள ஹார்னெக் இல்லத்தில் இரண்டாவது கூட்டமொன்று நடைபெற்றது; அப்பொழுது யுரேனியத்திட்டத்தின் முடிவுகள் போர் - உற்பத்தி அமைச்ச

48. ரெய்ச்ஸ் ஃபோர்ஸ்சுங்ஸ்ரட்–Reichs forschungsrat.
49. ரஸ்ட் - Rust. 50. எஸௌ - Esau.

ராக இருந்த ஸ்பியர் என்பாருக்கும் போராயத்த அலுவலர் களுக்கும் அறிவிக்கப்பெற்றன.

முக்கியமான தகவல்கள்:

அறிவிக்கப்பெற்ற தகவல்கள் வருமாறு: யுரேனிய அடுக்கிலுள்ள அணு ஆற்றல் தொழில் துறையில் பயன் படுத்தப்பெறுவது சாத்தியமானது என்பதற்குத் திட்டமான மெய்ப்பிப்பு கிடைத்துள்ளது. மேலும், கொள்கையளவில் அணுகுண்டுகட்கு வேண்டிய ஒரு வெடிபொருள் அத்தகைய அடுக்கிலிருந்து உண்டாக்கப்பெறக் கூடும் என்பது எதிர் பார்க்கப்பெற்றது. எனினும், அணுகுண்டுப் பிரச்சினைபற்றிய தொழில் நுணுக்கங்களின் ஆராய்ச்சி—எடுத்துக்காட்டாகத் தறுவாய் அளவு—மேற்கொள்ளப் பெறவில்லை. ஒரு யுரேனி யம் அடுக்கில் வளர்க்கப்பெறும் ஆற்றல் எதற்கும் முக்கிய மானதாகக் கொள்ளலாம் என்ற செய்திக்கு முக்கியத்துவம் தரப்பெற்றது; காரணம், இந்நோக்கம் எளிதாகவும் அதிகச் செலவின்றியும் முற்றுப் பெறக்கூடியதாக இருந்தது. யுரே னிய ஐசோடோப்புக்களைப் பிரித்தெடுப்பதுபற்றி ஒரு பெரிய தொழிற்துறைத் தளவாடங்களின்றி ஓர் அணு வெடி பொருளை உண்டாக்கவல்ல எந்த முறையும் அறியப்பெற வில்லை தற்செயலாக, புரோட்டோ-ஆக்டினியம் என்ற தனி மத்தை அணு வெடிபொருளாகப் பயன்படுத்தும் முறையும் ஆராயப்பெற்றது; காரணம், அதன் அணுக்கரு குறைந்த அளவு 10^5eV ஆற்றலைக்கொண்டு பிளவுறக்கூடியதாகவும், அதன் விளைவாக ஒரு விரைவான தொடர்நிலை இயக்கத்தை உண்டாக்கக்கூடியதாகவும் இருந்தது. ஆயினும், அந்தத் தனிமத்தின் தேவையான அளவுகளைத் தயாரித்தல் நடை முறையில் சாத்தியமில்லை என்று கருதப்பெற்றது.

சிறிய அளவில் யுரேனியத் திட்டம்:

இத்திட்டத்தின் எதிர்காலத்தைப்பற்றி ஒரு முடிவுடன் இருந்த இக்கூட்டத்தைத் தொடர்ந்து ஸ்பியர் (Speer) என்

பார் இதற்கு முன்னர் நடைபெற்றுவந்ததைப்போலவே, சிறிய அளவில் அவ்வேலை தொடர்ந்து நடைபெற வேண்டும் என்று ஆணையிட்டார். எனவே, அனைத்திற்கும் காரணமாக வுள்ள ஆற்றலை உண்டாக்கும் ஒரு யுரேனிய அடுக்கினை வளரச் செய்வதுதான் முடிவுபெறவேண்டிய ஒரே நோக்க மாக இருந்தது; உண்மையில், இந்த ஒரே நோக்கத்தை முழுதும் முற்றுப்பெறச் செய்வதற்கே எதிர்காலத்தில் செய் யப்பெறவேண்டிய வேலை முழுதும் திருப்பப்பெற்றது. அதன் பிறகு 1942-ஆம் ஆண்டு கோடைக் காலத்தில் யுரேனியத் தினின்றும் வெப்பத்தை எவ்வாறு செயற்படும்பொருளுக்கு (அஃதாவது, நீர் அல்லது நீராவிக்கு) மாற்றுவது என்பது பற்றிய தொழில்துறைப் பிரச்சினைகள் வெப்பத்துறைபற்றிய நிபுணர்களிடம் கலந்து ஆராயப்பெற்றன. கடற்படைத் துறைத் தொழில் நிபுணர்கள் யுரேனியத்தினின்றும் வெளிப் படும் ஆற்றலை எவ்வெவ்வாறெல்லாம் போர்க் கப்பல்களில் கையாளலாம் என்று அறியும் நோக்கத்துடன் அக்கூட்டத் திற்கு வந்திருந்தனர். கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் பௌதிக ஆராய்ச்சி நிலையம், கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் கேஸெல்ஸ் சாப்ட் என்ற நிலையத்தில் புதுப்பிக்கப்பெற்று அதனைத் தோற்றுவித்தவரே அதன் இயக்குநராகவும் அமர்த்தப்பெற் றார். அந்த நிலையத்தில் திட்டமிடப்பெற்றிருந்த பெரிய யுரேனிய அடுக்குகளின் ஆராய்ச்சிகளை ஆயத்தம் செய்வதற்கு ஒரு விசாலமான நிலவறை ஆய்வகம் ஒன்று சேர்க்கப்பெற் றது (வர்ட்ஸ்).

சில முக்கியமான சோதனை முடிவுகள்:

எனினும், இந்தக் காலத்தில் ஏற்கெனவே வேலை பளு அளவுக்கு மீறி சுமத்தப்பெற்றிருந்த ஜெர்மானிய நாட்டின் தொழில் துறை போரினாலேற்பட்ட அலுப்பையும் உணரத் தொடங்கியது. யுரேனியமும் உருண்டைவடிவ யுரேனியத் துண்டுகளும் சிறிய அளவுகளில்தான் உற்பத்தி செய்யப்பெற் றன; அவற்றின் ஒப்படைப்பும் (Delivery) தாமதத்துட

னேயே நிகழ்ந்தது; ஆகவே, பெரிய அளவிலுள்ள பரிசோதனைகள் அடிக்கடி ஒத்திவைக்கப்பெறறன. ஆயினும், முக்கியமான முன்னேற்றம் இருக்கத்தான் செய்தது. 1941-இல் ஹீரஸ்வாபனம்ட் என்ற இடத்திலிருந்த ஓர் ஆராய்ச்சிக் குழு (டைப்னெர்,[51] போஸ்,[52] ஜூலியஸ்,[53]) பாரஃபின் அச்சுக் கருவில் யுரேனியக் கன சதுரக் கட்டிகளின் பின்னல் வேலைகளால் அமைந்த ஒரு பெரிய யுரேனிய அடுக்கில் அளவீடுகளை மேற்கொண்டது; அதைத் தொடர்ந்த கொள்கை அளவிலுள்ள ஆராய்ச்சி (ஹாக்கர்)[54] பின்னல் வேலைப்பாட்டு அடுக்கு அமைப்பினைக் காட்டிலும் சில சந்தர்ப்பங்களில் அனுகூலங்களைக் கொண்டிருந்தது என்பதைக் காட்டியது. D_2O பனிக்கட்டியில் யுரேனியக் கனசதுரக் கட்டிகளால் அமைக்கப்பெற்ற ஒரு மாதிரி யடுக்கில் இக்குழுவினால் மேற்கொள்ளப்பெற்ற சோதனை உண்மையில் லீப்ஸிக் அடுக்கைவிட அதிகமான எண்ணிக்கையில் நியூட்ரான்களைத் தந்தது. அதன் பிறகு 500 லிட்டர் கன நீரினைக்கொண்டு மேற்கொள்ளப்பெற்ற பிறிதொரு சோதனையில் மேலும் நியூட்ரான்களின் அதிகரிப்பு பதிவு செய்யப்பெற்றது. ஹெய்டெல்பெர்க் ஆராய்ச்சி நிலையத்தில் ஒரு சிறிய மாதிரி அடுக்கில் மேற்கொள்ளப்பெற்ற அளவீடுகள் நியூட்ரான்களின் அதிகரிப்பிற்கும் அடுக்குகளின் (Layers) தடிப்பிற்கும் உள்ள உறவு முறையினை வரையறுத்தது; அதே சமயம் ஹெய்டெல்பெர்க்கில் போத்தே என்பாராலும் பிளாம்மர்ஃபீல்ட் என்பாராலும் மேற்கொள்ளப்பெற்ற சோதனைகளும் வீயன்னாவில் ஸ்டெட்டர்[55] என்பாராலும் லின்ட்னர்[56] என்பாராலும்

---

51. டைய்ப்னெர்-Diebner.
52. போஸ்-Pose.
53. ஜூலியஸ்-Czulius.
54. ஹாக்கர்-Hocker.
55. ஸ்டெட்டர்-Stetter.
56. லின்ட்னர்-Lintner.

மேற்கொள்ளப்பெற்ற சோதனைகளும் யு-238-இல் நடைபெறும் பிளவுறும் செயல்களில் புதிய அறிவினைத் தந்தது. போத்தேயால் மேற்கொள்ளப்பெற்ற ஒரு கொள்கை யாராய்ச்சிதானுகவே ஊட்டிக்கொள்ளக் கூடிய ஒரு மீச்சிறிய அளவு அடுக்கில் 'நிறுத்தத் தூரம்' (Stopping distance) (பிரெம்ஸ்லான்ஜே)[57] என்பதன் முக்கியத்துவத்தை வலியுறுத்தியது.

மேலும் ஓர் ஆராய்ச்சி:

அதிக அளவு கனநீரையும் யுரேனிய உலோகத்தையும் கொண்டு மேலும் செய்யப்பெற வேண்டிய சோதனைகளுக்கு ஆயத்தம் செய்வதற்காக, பெர்லினிலுள்ள கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் பௌதிக ஆராய்ச்சி நிலையம் அடுக்கிற்கு நீரையும் பென்சில் கரியையும் புறமூடியாகக்கொண்டால் ஏற்படும் விளைவுகளைக் காணும் ஓர் ஆராய்ச்சியைத் தொடங்கியது. யுரேனியத்தின் அணுநாத உட்கவர்ச்சி வால்ட்ஸ்,[58] ஹேக்ஸெல்,[59] சௌர்வெய்ன்[60] என்ற அறிஞர்களால் ஆராயப்பெற்றது. மேலும், பெர்லின் தொழில்துறை உயர்நிலைப் பள்ளியில் பல்வேறுபட்ட பொருட்கோவைகளின் உட்கவர் குறுக்கு-வெட்டுக்கள் ராம்[61], வால்ட்ஸ், ஹேக்ஸெல் என்ற ஆய்வாளர்களால் அளவிடப்பெற்றன. அணுநாத எல்லைகளின் வெப்பநிலை விரிவிலிருந்து உண்டாகும் ஆற்றல் உற்பத்தியின் வெப்பம் மாறுநிலைப் பிரச்சினைபற்றியவரையில், சௌர்வெய்ன், ராம் ஆகியவர்களால் பெர்லின்-டாலெம் உயர் மின் அழுத்தப்பொறியில் (Plant) செய்யப்பெற்ற சோதனைகள் குறிப்பிடத் தக்கவைகளாக இருந்தன.

---

57. பிரெம்ஸ்லான்ஜே-Bremslange.
58. வால்ட்ஸ்-Voltz.
59. ஹேக்ஸெல்-Haxel.
60. சௌர்வெய்ன்-Sauerwein.
61. ராம்-Ramm.

விமானத் தாக்குதல்களின் விளைவு:

1943-ஆம் ஆண்டு இளவேனிற் காலத்தில் ஒரு போர்ப் படையின் தாக்குதலால்[62] நார்ஸிக் ஹைட்ரோ எலக்ட்ரோ லிட்டிக் பொறி—(Hydro electrolytic plant) செயற்படுவதி னின்றும் நிறுத்தப்பெற்றது. அதன் புனரமைப்பு தொடங்கப் பெற்றது; ஆனால், நார்வேயிலுள்ள ஒரு பொறுப்பான இராணுவத் தலைவர் மேற்படி பொறியைத் திறனுடன் பாது காப்பதென்பது, அதுவும் சிறப்பாக விமானத் தாக்குதல்களி னின்றும் காப்பதென்பது, இயலாத செயல் என்று அறிவித் தார். 1943-ஆம் ஆண்டு அக்டோபர் மாதத்தில் தீவிரமான விமானத் தாக்குதல் ஒன்றனால் அப்பொறி முற்றிலும் அழிக் கப்பெற்றது. எனினும, ஜெர்மெனியில் அச்சமயம் கிட்டத் தட்ட இரண்டு டன் கனநீர் கிடைத்தது; நம்முடைய கணக் கீடுகளின்படி ஆற்றல் உற்பத்திசெய்யும் அடுக்கினைச் சமைப் பதற்கு அந்த அளவு நீர் கிட்டத்தட்டப் போதுமானது. ரெய்ச்ஸ்ஃபோர்ஸ்சுங்க்ஸ்ரட் ஜெர்மெனியில் ஒரு புதிய கன நீர் உற்பத்தித் தொழிற்சாலையை அமைப்பதற்கு எவ்வித மான தீவிர ஏற்பாடுகளையும் செய்யவில்லை; ஐ. ஜி. லௌனு[63] என்ற இடத்திலுள்ள சிறிய பொறியிலும்[64] மெதுவான முன் னேற்றம்தான் காணப்பெற்றது. விமானத் தாக்குதல்களின் காரணமாகவும் ஜெர்மானிய உற்பத்தியில் ஏற்பட்ட முழு தும் தழுவிய அலுப்பின் காரணமாகவும் அத்தகைய பெரிய கட்டடத் திட்டங்களை மேற்கொள்வது உண்மையில் கிட்டத் தட்ட சாத்தியப் படாததாகவே இருந்தது. 1944-ஆம் ஆண்டு இளவேனிற்காலத்தில் ஃபிராங்ஃபர்ட்டின்[65] மீது ஏற் பட்ட விமானத் தாக்குதல்களுக்குப் பிறகு உண்டை வடிவ

---

62. போர்ப்படையின் தாக்குதல்-Commando raid.
63. ஐ. ஜி. லௌனு-I. G. Leuna.
64. சிறிய பொறி-Pilot plant
65. ஃபிராங்ஃபர்ட்-Frankfurt

யுரேனியத் துண்டுகளின் உற்பத்தியும் (Production of uranium slugs) தற்காலிகமாக நின்றுவிட்டது.

சிறிதளவு முன்னேற்றம் காணப்பெறுதல்:

அப்பொழுதுங்கூட, ஹார்ட்டெக்-குராத்-பெயர்ல்[66] குழுவால் சிறிதளவு முன்னேற்றம் காணப்பெற்றது. 1942-ஆம் ஆண்டில் யு-235 என்ற யுரேனிய ஐசோடோப்பினை அதிகமாக்குவதற்கு ஒரு மையம் விட்டோடு கருவியை அமைப்பதில் இக்குழு வெற்றி கண்டது. அரிய ஐசோடோப்பினை அதிகமாகக்கொண்ட யுரேனியத்தைச் சாதாரண நீருடன் சேர்த்து செம்மையாக்கப் பெற்ற யுரேனிய அடுக்குகளைச் சமைப்பதில் பயன்படுத்தலாம் என்று திட்டமிடப் பெற்றது. அதே சமயத்தில், யுரேனியத்திட்டம் ஏசௌ[67]விடமிருந்து ஜெர்லாச்[68] என்பாரிடம் மாற்றப்பெற்றது. ஜெர்லாச் என்பார் ரெய்ச்ஸ்ஃபோர்ஸ்சுங்ஸ்ரட்டின் பௌதிகத்துறைப் பகுதியை மட்டிலும் பொறுப்பேற்று யுரேனியப் பிரச்சினையின் அறிவியல்கூறினைமட்டிலும் சீர்பெறச் செய்வதற்கு முயன்முர்; அதிலும் பௌதிகத்துறையுடன் நில்லாது மருத்துவத் துறைபற்றிய கூறிலும் கவனம் செலுத்தினர். மருத்துவத்துறைப் பிரயோகங்களுடன் சேர்த்து ஹார்ட்டாக்கின் யோசனையின்படி திரவநிலையிலுள்ள கரியமிலவாயுவில் தாழ்ந்த-வெப்பநிலை அடுக்கு சமைக்கும் திட்டம் மேற்கொள்ளப்பெற்றது. குறைந்த வெப்பநிலைகளில் அனுநாத எல்லைகளில் குறைந்த அளவு உட்கவருதலின் காரணமாகக் குறைந்த பரிமாணங்களைக்கொண்ட அத்தகைய ஒரு சிறிய அடுக்கும் வழி-துலக்கி ஆராய்ச்சிக்காக ஆதாய அளவில் கதிரியக்கத் தனிமங்களை விளைவிக்கும் என்று எதிர்பார்க்கலாம்.

---

66. ஹார்ட்டெக்-குராத்-பெயர்ல்: Harteck - Groth-Beyerle.

67. ஏசௌ-Esau.

68. ஜெர்லாச்-Gerlach.

புதிய ஒரு மாதிரி யடுக்கு:

*1943-44*ஆம் ஆண்டு குளிர்காலத்தில் பெர்லின், ஹெய்டெல்பெர்க் என்ற இடங்களிலுள்ள கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் பௌதிக ஆராய்ச்சி நிலையங்களின் இணைந்தியற்றிய முயற்சிகளின் காரணமாக 1·5 டன் கனநீரையும் அதே எடையுள்ள யுரேனியத் தகடுகளையும்கொண்டு ஒரு மாதிரி யடுக்கு டாலெம் விமானத் தாக்குதல்-காப்பிடத்தில் அமைக்கப்பெற்றது. வர்ட்ஸ், பிஸ்செர், பாப், பி. ஜென்ஸென், ரிட்டர்[69]). உட்புறமாகவுள்ள மூலத்திலிருந்து புகுத்தப்பெறும் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை 3 என்ற காரணியால்பெருக்கப்பெற்றது; இச்செயல் லாபிலிடாட்ஸ்பங்க்ட்[70] என்று நாம் வழங்கும் செயலுக்குக் கிட்டத்தட்ட நெருங்கிவிடுகின்றது; அந்நிலையில் K என்ற விகிதம் எல்லையைக்கடந்துவிடுகின்றது; யுரேனிய அடுக்கும் நியூட்ரான்கள் மூலத்தின் தொடர்பின்றியே கதிர்வீசத் தொடங்கிவிடுகின்றது; ஆற்றலையும் உண்டாக்குகின்றது. நியூட்ரானின் அதிகரிப்பிற்கும் அடுக்கின் தடிப்பிற்கும் உள்ள உறவுமுறை எதிர்பார்த்தவைகளை நிறைவேற்றின. மேலும், கார்பனிலும் கனநீரிலும் உள்ள பிளவுறுதலில் பங்கு கொள்ளும் நியூட்ரான்களின் 'நிறுத்த தூரங்கள்' திரும்பவும் தீர்மானிக்கப்பெற்று (வர்ட்ஸ்) முன்னர் அறுதியிடப்பெற்ற சரியற்ற அளவீடுகள் தக்க முறையில் சீர் செய்யப்பெற்றன. பெர்லின், மிக அதிகமான விமானத் தாக்குதல்கட்குட்பட்ட பொழுது இந்தச் சோதனைகள் ஆராய்ச்சி நிலையத்தின் விமானத் தாக்குப் பாதுகாப்பிடத்தில் செய்யப் பெற்றன; எனவே, ஓரளவு அவை விமானத் தாக்குதல்களாலும் தடைப்பட்டன. 1944-ஆம் ஆண்டு பிப்ரவரி மாதம் 15-ஆம் நாள் கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் வேதியியல் ஆராய்ச்சி நிலையத்திற்கு ஒரு நேர்த் தாக்குதல் ஏற்பட்டது. இந்தச் சமயத்தில் கெய்ஸர் வில்ஹெல்ம் பௌதிக ஆராய்ச்சி நிலையத்தின் ஒரு பகுதி

69. ரிட்டர்-Ritter.
70. லாபிலிடாட் ஸ்பங்க்ட்-Labiliatspunkt.

ஹெசின்ஜென்[71] என்ற இடத்திற்கு மாற்றப் பெற்றது. ஜெர்லாச்சிலிருந்து பெற்ற ஆணையின்படி ஹெய்கெர்லாச்[72] என்ற சிற்றூரில் ஒரு கெட்டியான குன்றில் அகழப்பெற்ற ஒரு கருவறையில் யுரேனிய அடுக்கு திரும்பவும் சமைப்பதற்கு வேண்டிய தளவாடங்கள் நிறுவப்பெற்றன. 1945-ஆம் ஆண்டு பிப்ரவரி வரையிலும் தேவையான பொருள்களின் பெரும் பகுதி (கிட்டத்தட்ட 1·5 டன் கனநீர், 1·5 டன் யுரேனியம், 10 டன் பென்சில் கரி, கட்டுப்படுத்தும் கோல்களுக்குரிய காட்மியம் முதலியவை) ஹெய்கெர்லாச்சில் வந்து சேரவில்லை; அதன்பிறகு, கனநீரில் யுரேனிய கனசதுரக்கட்டிகளைக் கொண்டுபென்சில் கரியாலான ஒருபுற மூடியுடன் ஒரு புதிய அடுக்கு நிறுவப்பெற்றது (வர்ட்ஸ், பிஸ்செர், பாப், ஜென்ஸன், ரிட்டர்). ஸ்டாட்டில்ம்[73] என்ற இடத்திலுள்ள ரெய்சஸ் ஃபோர்ஸ் சுங்ஸ்ரட்டின் கிளை நிறுவனத்திற்கு எஞ்சிய கன நீரும் கிடைத்த யுரேனியத்தின் பெரும் பகுதியும் தரப்பெற்றன. ஹெய்கெர்லாச் அடுக்கு ஏழு மடங்கு நியூட்ரான் அதிகரிப்பினை விளைவித்தது. எனினும், ஹய்கெர்லாச்சில் கிடைத்த பொருள்கள் $K = \infty$ என்ற நிலையை உண்டாக்குவதற்குப் போதுமானவைகளாக இல்லை. ஒரு சிறிய அளவு யுரேனியம் கிடைத்திருந்தால் ஒருக்கால் போதுமானதாக இருந்திருக்கும்; ஆனால் அடைவதற்குச் சாத்தியம் இல்லை. காரணம், பெர்லினிலிருந்தோ ஸ்டாட்டில்மிலிருந்தோ ஹெசின்ஜெனுக்கு போக்குவரவு இல்லாதிருந்தது. ஏப்ரல் 22-ஆம் நாள் ஹெய்கர்லாச் அமெரிக்கர்களால் கைப்பற்றப்பெற்று அந்தப்பொருளும் பறிமுதல் செய்யப்பெற்றது.

ஜெர்மெனியின் திருப்பம்:

இங்கு அறிவிக்கப்பெற்ற ஜெர்மானியரின் செயலே இத்துடன் ஒத்துள்ள நாம் அறிந்த வரையிலுள்ள ஆங்கில-அமெ

71. ஹெசிஜென்-Hechingen.
72. ஹெய்கர்லாச்-Haigerloch.
73. ஸ்டாட்லிம்Stadtilm.

ரிக்க முயற்சியுடன் ஒப்பிட்டால், 1942-ஆம் ஆண்டின் தொடக்கம் ஒரு திருப்பமாக இருந்தது என்று தோன்று கின்றது. அந்தக்காலம் வரையிலும் இருதரப்பினரும் அணுக் கருவாற்றலைப் பயனுள்ள முறையில் கொண்டு செலுத்த லாமா, அதனை முற்றுவிப்பதற்கு எந்த அடிப்படை முறை களை மேற்கொள்ள வேண்டும் என்ற அறிவியல் பிரச்சினை யையே முக்கியமாக ஆராய்ந்து கொண்டிருந்தனர். ஐசோ டோப்புக்களைப் பிரிக்கும் முறையை நீக்கி விட்டால், இரு தரப்பினரும் ஒரே சமயத்தில் கிட்டத்தட்ட ஒரேவித முடிவு களையே அடைந்தனர் என்று சொல்லலாம்; ஐசோடோப்புக் களைப் பிரிக்கும் முறையில் ஆங்கிலோ-அமெரிக்கர்கள் அதிக முன்னேற்றத்தை அடைந்திருந்தனர். மேலும், அமெரிக்க ஐக்கிய நாடுகளில் அடுத்தபடியாகப் பெரிய அளவில் மேற் கொள்ள இருந்த யுரேனியத் திட்டத்தின் வளர்ச்சிபற்றிய அடிப்படை வேலையில் அதிகமான கவனம் செலுத்தப்பெற் றது; ஆகவே, 1942-ஆம் ஆண்டு டிசம்பரிலேயே தானாகவே தாங்கி நிற்கக்கூடிய முதல் அடுக்கு செயற்படத் தொடங்கி விட்டது.

ஜெர்மெனி அணுகுண்டு உற்பத்தி செய்யாததன் காரணம்:

இந்த முடிவுகளுக்கு தொழிற் பலனை அறுதியிடுவது தான் இனி ஆற்ற வேண்டியதாக இருந்தது; அமெரிக்க ஐக் கிய நாடுகளில் அணுகுண்டுகளின் உற்பத்தியை மேற் கொள்ள வேண்டுமென இறுதியாக முடிவு செய்யப்பெற்றது; மொத்த அமெரிக்க இராணுவச் செலவீட்டின் பெரும் பகுதி இத்துறைக்கே வினியோகிக்கப் பெற்றிருக்க வேண்டும்; ஜெர் மெனியில் அணுக் கருவாற்றலால் கொண்டு செலுத்தப் பெற்ற முன்னோடிப் பிரச்சினைக்குச் தீர்வு காண்பதற்கு ஒரு முயற்சி மேற்கொள்ளப்பெற்றது; அமெரிக்கர்கள் செலவிட்ட தொகையில் ஆயிரத்தில் ஒருபங்கு இதற்கு ஒதுக்கப்பெற்றது;

ஜெர்மானியர்களால் மட்டுமின்றி ஆங்கிலேயர்களாலும் அமெரிக்கர்களாலும் ஜெர்மெனி அணுகுண்டுகளை உற்பத்தி செய்ய ஏன் ஒருவித முயற்சியினையும் மேற்கொள்ளவில்லை என்று அடிக்கடி நாம் வினவப்பெற்றோம். இதற்கு நாம் எளியமுறையில் தரக்கூடிய விடை இதுதான்: ஜெர்மெனிக்கு ஏற்பட்டிருக்கும் போர்ச் சூழ்நிலையில் அத்திட்டம் வெற்றி யாக முற்றுப்பெருது என்பதே அதற்குக் காரணம். தொழில் துறைக் காரணங்களால்மட்டிலும் அத்திட்டம் வெற்றி பெருது என்பதில்லை; ஏனெனில், ஏராளமான அறிவியலறிஞர் களும், தொழில்துறை நிபுணர்களும், ஆலைத் தொழில் வசதி களும், எதிரிகளால் அலைக்கப்பெருத பொருளாதார வசதி களும் இருந்தபோதிலும் அமெரிக்காவில்கூட, ஜெர்மெனி யுடன் போர் முடிவுபெறும் வரையிலும் அணுகுண்டு தயா ராகவில்லை. சிறப்பாகக் கூறினுல், இராணுவ நிலைமையின் காரணமாக ஜெர்மெனியின் அணுகுண்டுத் திட்டம் வெற்றி பெற்றிருக்க முடியாது. 1942-ஆம் ஆண்டில் ஜெர்மெனியின் தொழில்துறை அது தாங்கும் எல்லைவரையிலும் பெருக்கப் பெற்றது; ஜெர்மானியப்படை 1941—42-இல் இரஷ்யா வில் கடுமையான சிரமங்களை அனுபவிக்க நேர்ந்தது.. எதிரி களின் விமானப்படையின் உயர்வும் புலனுகத் தொடங் கியது. போர்த் தளவாடங்கள் யாவும் உற்பத்தியானவுடன் ஆட்களின்றியும் கச்சாப்பொருள்களின்றியும் எதிரிகளால் கவரப்பெறுவனவாக இருந்தன; தேவையாகவுள்ள ஏராள மான நிலையங்களும் விமானத் தாக்குதலினின்றும் சிறந்த முறையில் பாதுகாக்கப்பெறக்கூடிய நிலையில் இல்லை. இறுதி யாக—இதுதான் மிகமுக்கியமான உண்மை—ஜெர்மெனியின் போர் நோக்க முறைக்குப் பொறுப்பாளர்களாக இருந்தவர் களின் மனோநிலைக்குமாருக அத்தகைய ஒரு ஏற்பாடு தொடங் குவதற்குக்கூட இயலுவதாக இல்லை. இவர்கள் முன்ன தாகவே, 1942-லேயே, போரின் முடிவை எதிர் நோக்கினர்; விரைவில் பலன் தராத எந்தப் பெரிய திட்டமும் குறிப் பாகத் தடுக்கப்பட்டது. இந்த நிபுணர்கள் தாம் கொடுக்கும் வாக்குறுதிகளின்படி நடக்க முடியாது என்று தெரிந்தும்

தேவையான உதவி பெறுவதன் நிமித்தம் விரைவானபலன் கிடைக்கும் என்ற வாக்குறுதிகளைத் தரவேண்டிய நிலையில் இருந்தனர். இந்நிலையின் காரணமாக, இந்த நிபுணர்கள் ஆட்சிபீட இராணுவத் தலைவருடன் அணுகுண்டுகள் உற்பத்தி செய்வதுபற்றி எந்தவிதமான தொழில் முயற்சியும் செய்ய வேண்டும் என்று சொல்லுவதற்கே துணியவில்லை.

அமைதிகாலத் திட்டம்—அதில் நம்பிக்கை:

தொடக்கத்திலிருந்தே ஜெர்மானிய பௌதிக அறிஞர்கள் அத்திட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் முறையில் மிக அக்கறையுடன் முயன்று தாம் நிபுணர்கள் என்ற முறையில் இந்த அறிக்கையில் கூறப்பெற்ற வழிகளில் கொண்டு செலுத்தத் தம் செல்வாக்கைப் பயன்படுத்தினர். எதிர்பாராத நிலையில் அவர்கள் அணுகுண்டுகளை உற்பத்தி செய்வதா, அன்றி செய்யக்கூடாதா என்ற முடிவு அவர்கட்டு அளிக்கப்பெறவில்லை. நெருக்கடியான ஆண்டாகிய 1942.ஐ நோக்க, முறையை உருவாக்கும் சந்தர்ப்பங்கள் முன்னோடிகளில் அணுக்கருவாற்றலைப் பயன்படுத்தும் பிரச்சினையில் தாமாக வழிகாட்டிகளாக அமைந்தன. ஒரு ஜெர்மானியப் பௌதிக அறிஞருக்கு இப்பணி மிக முக்கியமானதாகவே தோன்றியது. இப்பிரச்சினைக்குத் தீர்வு காண்பது, ஹான், ஸ்ட்ராஸ்மன் என்ற இரண்டு ஜெர்மானிய அறிவியலறிஞர்களின் கண்டுபிடிப்பால் சாத்தியபடுவதாக அமைந்தது. அவர்களுடைய கண்டுபிடிப்பிலிருந்து வளர வேண்டிய முக்கியமான தொழில்துறை ஆக்க வேலைத் திட்டங்கள், அமைதிகாலத் திட்டங்களுடன் சேர்ந்து, ஜெர்மெனியிலேயே தொடங்கப்பெற்று நாளடைவில் அங்கு நற்பயனை விளைவிக்கக்கூடும் என்ற நம்பிக்கையுடன் நாம் மனநிறைவு பெறலாம்.

அட்டவணைகள்

அட்டவணை I (A)

பௌதிக மாறிலிகள்

அயனியின் மின்னூட்டம் (ஃபாரடே) = 96,520 கூலங்கள் (ஒற்றை வலுவெண் தனிமத்தின் ஒவ்வொரு கிராம்-அணுவிற்கும்)

ஒளியின் நேர்வேகம் (வெற்றிடத்தில்), $c = 2.99778 \times 10^{10}$ செ.மீ. விநாடிக்கு$^{-1}$

எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்: $e = 4.803 \times 10^{-10}$ e.s.u $= 1.602 \times 10^{20}$ e.m.u $= 1.602 \times 10^{-19}$ கூலங்கள்.

எலக்ட்ரானின் நிலைப் பொருண்மை $m_0 = 9.107 \times 10^{-28}$ கிராம்.

எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்திற்கும் பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதம், $e/m_0 = 1.759 \times 10^8$ கூலங்கள் (கிராம் ஒன்றுக்கு)

லாஸ்ச்மிட்டின் (அவகாட்ரோவின்) எண் (மோல் ஒன்றுக்கு உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை), $L = 6.024 \times 10^{23}$

பிளாங்கின் இயக்கக் குவாண்டம் (பிளாங்கின் மாறிலி), $h = 6.624 \times 10^{-27}$ எர்க்குகள் × விநாடி; $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.0543 \times 10^{-29}$ எர்க்கு × விநாடி.

ரிட்பெர்க்கின் மாறிலி ($R = 2\pi^2 me^4/ch^3$) = 109,737 செ. மீ.$^{-1}$

எலக்ட்ரானின் பொருண்மை = 5.486×10^{-4} அ. பொ. அ. (அணுப்பொருண்மை அலகுகள்)

புரோட்டானின் பொருண்மை = 1.00758 அ.பொ.அ.

ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மை = 1.00813 அ. பொ. அ.

நியூட்ரானின் பொருண்மை = 1.00895 அ.பொ.அ.

ஹைட்ரஜன் அணுவின் பொருண்மைக்கும் எலக்ட்ரானின் பொருண்மைக்கும் உள்ள விகிதம்

$= M/m_0 = 1837.5.$

அட்டவணை I (B)

பௌதிக அலகுகள்

1 மில்லியன் எலக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள்: 1Mev = *1.6* $\times$ *10*$^{-6}$ *எர்க்கு = 3.83* $\times$ *10*$^{-14}$ *கலோரி.*

பொருண்மையின் *சமபல ஆற்றல்: 1 அ. பொ. அ. = 1.49* $\times$ *10*$^{-3}$ *எர்க்கு.*

எலக்ட்ரானின் நிலை ஆற்றல், $m_0 c^2$ = *0.51* Mev = *0.8184* $\times$ *10*$^{-6}$ *எர்க்கு.*

கிளாஸிகல் எலக்ட்ரானிக் ஆரம்; $r_e = e^2/mc^2$ = *2.82* $\times$ *10*$^{-13}$ *செ. மீ.*

அட்டவணை - I (C)
அடிப்படைத் துகள்கள்

துகள்	பொருண்மை	மின்னூட்டம்	பொறி நுட்ப தற் சுழற்	காந்தத் திருப்பு திறன்
நியூட்ரான்	1.6748×10^{-24} கிராம்	0	$\frac{1}{2}\hbar$	-1.935 N.M.
புரோட்டான்	1.6725×10^{-24} கிராம்	1.602×10^{-19} கூலம்	$\frac{1}{2}\hbar$	2.785 N.M.
எலக்ட்ரான்	9.107×10^{-28} கிராம்	1.602×10^{-19} கூலம்	$\frac{1}{2}\hbar$	-1. B M.
பாசிட்ரான்	9.107×10^{-28} கிராம்	1.602×10^{-19} கூலம்	$\frac{1}{2}\hbar$	1. B.M.
நியூட்டிரினோ	$\backsim 0$	0	$\frac{1}{2}\hbar$	?
ஆண்டி நியூட்டிரினோ	$\backsim 0$	0	$\frac{1}{2}\hbar$	?

இலேசான மேசான்	209 m_e	$\pm 1.602 \times 10^{-19}$ கூலங்கள்	உறுதியாகத் தெரியவில்லை.	
π - மேசான்	276 m_e	$\pm 1.602 \times 10^{-19}$ கூலம்		
τ - மேசான்.	∽900 me	$\pm 1.602 \times 10^{-19}$ கூலங்கள்		
ஒளி குவாண்டம் (ஃபோட்டான்)	O	O	$1 \times \hbar$	O

---

1 N. M = 1 அணுக்கரு மேக்னெட்டான் = 5.505×10^{-24} காஸ் × செ. மீ^{3}

1 B. M. = 1 போர் மேக்னெட்டான் = 9.27×10^{-24} காஸ் × செ. மீ^{2}
= 1.8365 N.M.

m_e = எலக்ட்ரானின் பொருண்மை.

குறிப்பு :— புலத் தீவிரத்தின் (அழுத்தத்தின்) அலகு, அஃதாவது காஸ் (Gauss) சில சமயம், ஓயர்ஸ்டெட்டு என்றும் வழங்குகின்றது.

அட்டவணை - II

வேதியியல் தனிமங்களையும் அவற்றின் சராசரி வேதியியல் அணு-எடைகளையும் காட்டும் அட்டவணை:

குறியீடு	தனிமம்.	அணு-எண்	அணு-எடை
H	ஹைட்ரஜன்	1	1.0080
He	ஹீலியம்	2	4.003
Li	லிதியம்	3	6.9040
Be	பெரிலியம்	4	9.02
B	போரான்	5	10.82
C	கார்பன் (கரி)	6	12.010
N	நைட்ரஜன்	7	14.008
O	ஆக்சிஜன்	8	16.0000
F	ஃப்ளோரின்	9	19.00
Ne	நியான்	10	20.183
Na	சோடியம்	11	22.997
Mg	மெக்னீசியம்	12	24.32
Al	அலுமினியம்	13	26.97
Si	சிலிக்கன்	14	28.06
P	பாஸ்வரம்	15	30.974
S	கந்தகம்	16	32.006
Cl	குளோரின்	17	35.457
A	ஆர்கான்	18	39.944
K	பொட்டாசியம்	19	39.096
Ca	கால்சியம்	20	40.08
Sc	ஸ்காண்டியம்	21	45.10
Ti	டிட்டானியம்	22	47.90
V	வனேடியம்	23	50.95
Cr	குரோமியம்	24	52.01

Mn	மாங்கனீஸ்	25	54.93
Fe	அயம் (இரும்பு)	26	55.85
Co	கோபால்ட்டு	27	58.94
Ni	நிக்கல்	28	58.69
Cu	தாமிரம்	29	63.542
Zn	துத்தநாகம்	30	65.38
Ga	காலியம்	31	69.72
Ge	ஜெர்மானியம்	32	72.60
As	ஆர்செனிக்	33	74.91
Se	செலீனியம்	34	78.96
Br	புரோமின்	35	79.916
Kr	கிரிப்டான்	36	83.7
Rb	ருபிடியம்	37	85.48
Sr	ஸ்ட்ரான்ஷியம்	38	87.63
Y	யிட்டிரியம்	39	88.92
Zr	ஸிர்க்கோனியம், ஸர்க்கான்	40	91.22
Nb	நியோபியம்	41	92.91
Mo	மாலிப்டினம்	42	95.95
Tc	டெக்னெஷியம்	43	ഗ 99
Ru	ருத்தெனியம்	44	101.7
Rh	ரோடியம்	45	012.91
Pd	பல்லேடியம்	46	106.7
Ag	வெள்ளி	47	107.880
Cd	காட்மியம்	48	112.41
In	இண்டியம்	49	114.76
Sn	வெள்ளீயம்	50	118.70
Sb	ஆண்டிமொனி	51	121.76
Te	டெல்லூரியம்	52	127.61
I	அயோடின்	53	126.92
Xe	ஜெனன்	54	131.3
Cs	சீசியம்	55	132-91
Ba	பேரியம்	56	137.36

La	லாந்தானம்	57	138.92
Ce	செரியம்	58	140.13
Pr	பிரேசோடிமியம்	59	140.92
Nd	நியோடிமியம்	60	144.27
	—	61	—
Sm	சமேரியம்	62	150.38
Eu	யுரோப்பியம்	63	152.0
Gd	கடோலினியம்	64	156.9
Tb	டெர்பியம்	65	159.2
Dy	டைபுரோஸியம்	66	162,46
Ho	ஹோல்மியம்	67	164.94
Er	எர்ப்பியம்	68	167.2
Tm	தூலியம்	69	169.4
Yb	ஒய்ட்டெர்பியம்	70	173.04
Lm	லூடிடியம்	71	174.99
Hf	ஹாஃப்னியம்	72	178.6
Ta	டாண்டலம்	73	180.88
W	டங்க்ஸ்டன்	74	183.92
Re	ரீனியம்	75	186.31
Os	ஓஸ்மியம்	76	190.2
Ir	இரிடியம்	77	193.1
Pt	பிளாட்டினம்	78	195.23
Au	பொன்	79	197.2
Hg	பாதரசம்	80	200.61
Tl	தோலியம்	81	204.39
Pb	காரீயம்	82	207.21
Bi	பிஸ்மத்	83	209.00
Po	போலோனியம்	84	ஸ 210
At	ஆஸ்டடைன்	85	ஸ 218
Rm	ரேடான்	86	222
Fr	ஃபிரான்சியம்	87	ஸ 223
Ra	ரேடியம்	88	226.05
Ac	ஆக்டினியம்	89	ஸ 227

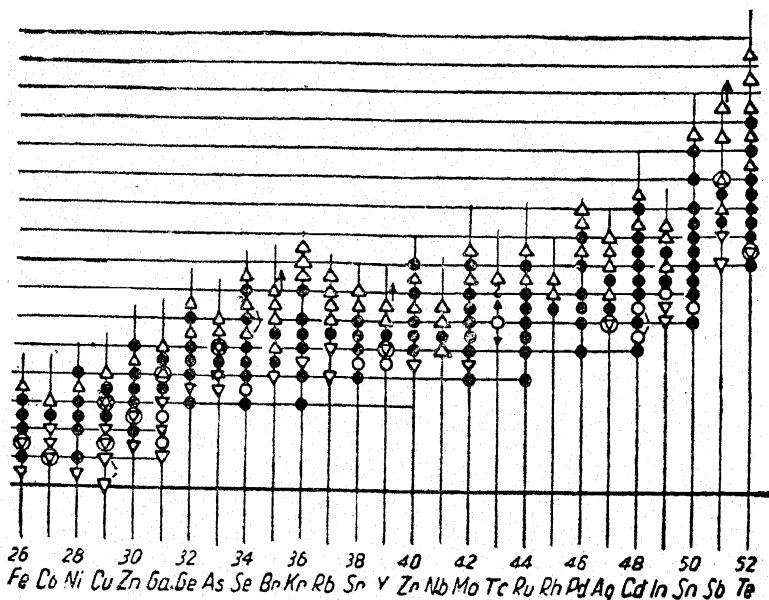
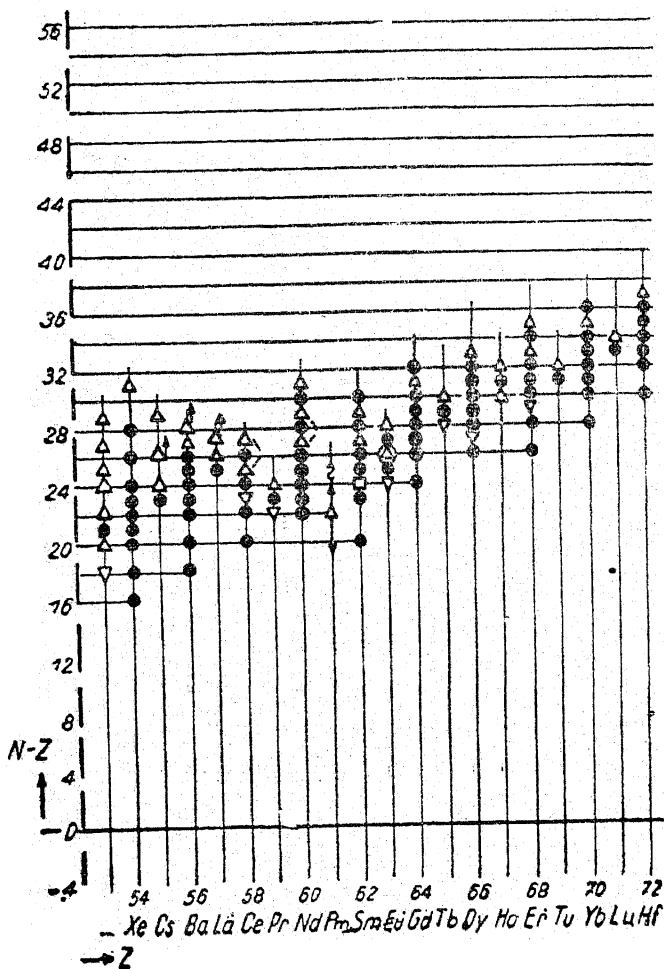
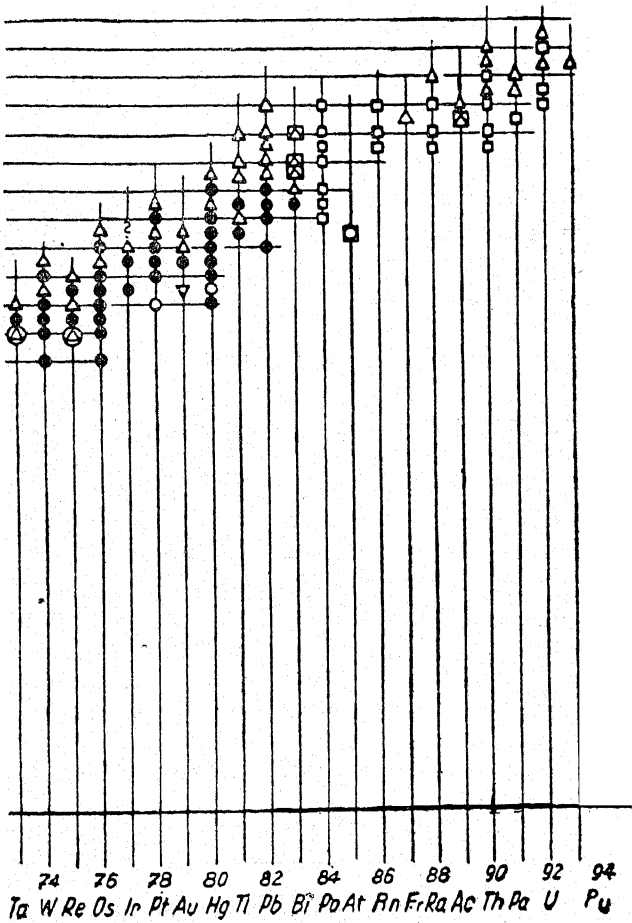
Th	தோரியம்	90	232.12
Pa	புரோடாக்டினியம்	91	௳ 231
U	யுரேனியம்	92	238.07
Np	நெப்டூனியம்	93	
Pu	புளூட்டோனியம்	94	
Am	அமெரிசியம்	95	
Cm	குயூரியம்	96	
* Bk	பெர்க்கேலியம்	97	
Cf	கலிஃபோர்னியம்	98	
En	ஐன்ஸ்டைனியம்	99	
Fm	ஃபெர்மியம்	100	
Mv	மெண்டலீவியம்	101	
No	நொபிலியம்	102	

* இக்குறிகளுக்குக் கீழ்உள்ள தனிமங்கள் யாவும் புதியனவாகக் கண்டறியப்பெற்றவை. இதற்கு மேலும் சில தனிமங்கள் ஆய்வு நிலையில் இருந்து வருகின்றன.

அட்டவணை-III

தனிமங்களின் ஆவர்த்த அமைப்பு

தெரிந்த அணுக்கருக்களுக்கு அணு எண்ணின் (Z) சார் (N–Z) காட்டுவது.

- ● stable nuclei
- △ β^--(electron) emitters
- ▽ β^+-(positron) emitters
- □ α-emitters
- ○ K-electron capturers
- ✡ β-emitters, capable of emitting both electrons and positrons

பலனில் அணுக்கருவின் நியூட்ரானின் மிகைபாட்டினைக்

தெரிந்த அணுக்கருக்களுக்கு அணு எண்ணின் சார் (N-Z) காட்டுவது.

பலனில் அணுக்கருவின் நியூட்ரானின் மிகைபாட்டினைக்

அட்டவணை—V

ஐசோடோப்புக்களின் பௌதிக எடைகள்; இலேசான தனிமங்களின் செழிப்பும் கதிர் வீசலின் சிறப்பியல்களும்[1]

Z = ஓர் அணுவில் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை
N = ஓர் அணுவில் நியூட்ரான்களின் எண்ணிக்கை; T—அரை-வாழ்வு, செழிப்புக்கள் சத வீதங்களில் குறிப்பிடப் பெற்றுள்ளன.

தனிமம்	Z	N	Z+N	அணு-எடை	தொடர்பு காட்டும் செழிப்பு (abundance)	T	கதிர் வீசல் வகை
n	0	1	1	1.008945	—	—	—
H	1	0	1	1.008131	99.985	—	—
D		1	2	2.014725	0.015	—	—
T		2	3	3.017004	—	31a	β^-
He	2	1	3	3.016988	10^{-5}	—	—
		2	4	4.003860	~ 100	—	—
		3	5	5.015428	—	$\sim 6 \times 10^{-20}$S	a+n
		4	6	6.0209	—	0.8 S	β^-
Li	3	3	6	6.016917	7.9	—	—
		4	7	7.018163	92.1	—	—
		5	8	8.024967	—	0.9 S	β^-, a

1. அட்டவணை-V மாட்டெனச்-பிளாக்கேயின் 'கெர்ன் பிஸிகாலிச்டே டெல்லனி' லிருந்து (பெர்லின்-1942) எடுக்கப் பெற்றது. அரை-வாழ்வு மதிப்புக்களில் s என்பது விநாடிகளையும், m மாதங்களையும், d நாட்களையும், a ஆண்டுகளையும் குறிக்கின்றன.

Be	4	3	7	7.019089	—	53d	Kx
		4	8	8.007807	—	<1s	2a
		5	9	9.014958	100	—	—
		6	10	10.016622	—	~10⁶a	β−
B	5	4	9	9.016104	—	நிலைப் பற்றது	2a+பு
		5	10	10.016169	20	—	—
		6	11	11.012901	80	—	—
		7	12	12.0168	—	0.022s	β−
C	6	4	10	10.02086	—	8.8s	β+γ
		5	11	11.015017	—	21m	β+
		6	12	12.003880	98.9	—	—
		7	13	13.007561	1.1	—	—
		8	14	14.007741	—	—	—
N	7	6	13	13.009904	—	9.93m	β+γ
		7	14	14.007530	99.62	—	—
		8	15	15.004870	0.38	—	—
		9	16	16.00645	—	8.4s	β
O	8	7	15	15.0078	—	125s	β+
		8	16	16.00000	99.76	—	—
		9	17	17.00450	0.04	—	—
		10	18	1800485	0.20	—	—
		11	19	—	—	31s	β−
F	9	8	17	17.00758	—	1.23m	β+
		9	18	18 00670	—	107m	β+
		10	19	19.00454	100	—	—
		11	20	20.00654	—	12s	β− γ
Ne	10	9	19	19.00798	—	20.3s	—
		10	20	19.998895	90 00	—	β+
		11	21	21.00002	0.27	—	—
		12	22	21.99858	9.73	—	—
		13	23	23.00084	—	43s	β−
Na	11	10	21	—	—	23s	β+

		11	22	22.00032	—	3.0a	β^+ γ
		12	23	22.99644	100	—	—
		13	24	23.99774	—	14.8h	β^- γ
Mg	12	11	23	23.00055	—	11.6s	β^+
		12	24	23.99300	77.4	—	—
		13	25	24.99462	11.5	—	—
		14	26	25.99012	11.1	—	—
		15	27	26.99256	—	10.0m	β^- γ
Al	13	13	26	25.99443	—	7.0s	β^+
		14	27	26.99069	100	—	—
		15	28	27.99077	—	2.3m	β^- γ
		16	29	28.9892	—	6.7m	β^-
Si	14	13	27	26.99611	—	4.92s	β^+
		14	28	27.98723	89.3	—	—
		15	29	28.98651	6.2	—	—
		16	30	29.98399	4.2	—	—
		17	31	30.9866	—	157.3m	β^-
P	15	14	29	28.99151	—	4.6s	β^+
		15	30	29.9885	—	130.6s	β^+
		16	31	30.9844	100	—	—
		17	32	31.98437	—	14.285d	β^-
		>16	>31	—	—	12.7s	β^-
S	16	15	31	30.98965	—	3.18s	β^+
		16	32	31.98252	95.1	—	—
		17	33	32.9819	0.74	—	—
		18	34	33.97981	4.2	—	—
		19	35	—	—	—	—
		20	36	—	0.016	—	—
		21	37	—	—	88d	β^-
Cl	17	16	33	—	—	2.4s	B+
		17	34	—	—	32.m	B+
		18	35	34.97884	75.4	—	—
		19	36	35.97803	—	($>$ 1 a)	β^+,k,β^-

		20	37	36.97770	24.6	—	—
		21	38	37.97999	—	37.5m	β^- γ
·· A	18	17	35	—	—	1.88s	β^+
		18	36	35.97728	0.31	—	—
		20	38	37.97463	0.06	—	—
		22	40	39.97549	99.63	—	—
		23	41	40.97740	—	110m	β^- γ
K	19	19	38	—	—	7.65m	β^-
		20	39	38.976	93.44	—	—
		21	40	—	0,012	14.10^8a	β^-
		22	41	—	6.55	—	—
		23	42	—	—	12.4h	β^-
		24	43	—	—	18.m	β^-
		25	44	—	—	18m	β^-
Ca	20	(19)	(39)	—	—	4.5m	β^+
		20	40	—	96.95	—	—
		21	41	—	...	8.5d	K γ
		22	42	—	0.64	—	—
		23	43	—	0.15	—	—
		24	44	—	2.07	—	—
		25	45	44.97075	—	180d	B^- γ
		26	46	—	0.003	—	
		28	48	—	0 185	—	
		29	49	—	—	2.5h	B^- γ
		ஐசோமர்		—	—	30m	B^-

பின்னிணைப்பு-3

கலைச் சொற்கள் அகராதி

A

Abbreviated Symbol-சுருக்கக் குறியீடு
Abscissa- மட்டாயம்
Absolute - முழுமையான
Absolute magnitude-தனித்த அளவு
Absorb-உட்கவர், உறிஞ்சு, உட்கொள்
Absorption - உட்கவர்தல்
Accelerate - வேகம்வளர், முடுக்கி விடு,
Acceleration - வேகவளர்ச்சி, முடுக்கம்
Accurate - திருத்தமான
Achievement - அருஞ்செயல்
Acid - அமிலம்
    Sulphuric - கந்தக அமிலம்
    Sulphurous - கந்தச அமிலம்
Action - வினை
Actinium - ஆக்டினியம்
Adiabatic - மாறுவெப்ப
Adjacent - அடுத்துள்ள
Adjust - சரிசெய்
Adsorb - உறிஞ்சு (வாயு)
Aerial - ஏரியல், வான்கம்பி
Aeroplane - வானவூர்தி
Alchemy - இரசவாதம்
Alkali metals - கார உலோகங்கள்
Alkaline earth metal - கார மண் உலோகம்
Alphabet - நெடுங் கணக்கு
Alternating current - மாறு மின்னோட்டம்
Alternative field-மாறு புலம்
Alternative - வேறொரு
Americium - அமெரிசியம்
Amplification - பெருக்கம்
Amplifier, electric - மின் பெருக்கி
Amplitude - வீச்சு
Analogy - ஒப்புடைமை
Angle - கோணம்
Angular momentum - கோணத் திருப்புதிறன்
Annihilation radiation - அழிவுக் கதிர்வீசல்
Anticlockwise - இடஞ்சுழியாக
Antinutrino - எதிர் நியூட்டிரினோ
Aperture - துளை
Apex - உச்சி
Apostrophe - தொகைக்குறி
Apparatus - உபகரணம்
Appliance - சாதனம்
Applied science - பயன்முறை அறிவியல்

Application - பிரயோகம், கையாளுதல்
Appreciable - கணிசமான
Approximate - ஏறக்குறைய
Approximation - தோராயம்
Arbitrarily - விருப்பப்படி வழக்காடாமல்
Arrangement - அமைப்பு
Assimilation - தன் வயமாக்குதல்
Assume - சங்கற்பித்துக் கொள்
Assumptions - சங்கற்பங்கள்
Asymptotically - அஸிம்டோட்டாக
Atmosphere - வளிமண்டலம்
Atom - அணு
Atom of electricity - மின்னணு
Atomic mass - அணு-பொருண்மை
Atomic number - அணு-எண்
Atomic weight - அணு எடை
Attention - கவனம்
Attract - ஈர்
Attribute - இலக்கணம், பண்பு
Autumn - இலையுதிர்காலம்
Axis - ஆயம், அச்சு
Axis, coordinate - துணை ஆயம்

B

Balance sheet - இருப்புநிலைக் குறிப்பு
Barium - பேரியம்
Base of Logarithm - மடக்கை அடி
Basic - அடிப்படையான
Basis - அடிப்படை
Basophilic leucocytes- பேஸோபிலிக் லூக்கோசைட்ஸ்
Battery - மின்கல அடுக்கு
Becoming - ஆதல்
Being - இருத்தல்
Belt - வார்ச்சுற்று
Benzol - பென்சால்
Beryllium - பெரிலியம்
Binding energy - பிணைப் பாற்றல்
Bismuth - பிஸ்மத்
Bismuth hydrate - பிஸ்மத் ஹைட்ரேட்
Blind necessity - கண்மூடித் தேவை
Bohr magneton - போர் மேக்னெட்டான்
Bombardment - தாக்குதல்
Boron - போரான்
Bottom - அடிமட்டம்
Boundary place - எல்லை தளம்
Brake - நிறுத்து
Building blocks - அடிப் படைத் துகள்கள்
By product-உடன் விளைவுப் பொருள்

C

Caloric - கலோரி, கனலி
Camera - காமிரா
Canal rays - கால்வாய்க் கதிர்கள்
Capture - சிறைப்படுத்து, சிறையிடு
Carbon - கரி, கார்பன்
Carboxyl - கார்பாக்ஸில்

Catalyst - ஊக்கி
Cathode rays - எதிர் முனைக் கதிர்கள்
Cellar - நிலவறை
Chain reaction - தொடர் இயக்கம்
Change - மாற்றம்
Charge - மின்னூட்டம், மின்னேற்றம்
Charged - மின் ஏற்றம் பெற்ற
Charactaristics - சிறப்பியல்புகள்
Charge number - மின்ஏற்ற எண்
Chart - கருத்துப் படம், அட்டவணை
Chemical affinity - வேதி நாட்டம்
,, bond - வேதிப் பிணைப்பு
,, element - வேதித் தனிமம்
,, property - வேதிப் பண்பு
Chemistry - வேதியியல்
,, Analytical - பகுமுறை வேதியியல்
,, Bio - உயிரியல் வேதியல்
,, Colloid - கூழ்நிலைப் பொருள் வேதியியல்
,, Inorganic - கரிமமிலா வேதியியல்
,, Physical - பௌதிக வேதியியல்
,, Qualitative - பண்பறி வேதியியல்
,, Quantitative - அளவறி வேதியியல்
,, Synthetic - தொகுமுறை வேதியியல்
,, Technical-தொழில்முறை வேதியியல்
Chlornie - குளோரின்
Chronological order - கால வரையறை ஒழுங்கு
Circuit - சுற்று
Circumference - சுற்றளவு, பரிதி, சுற்று வட்டம்
Classical mechanics - சம்பிரதாய பொறி நுட்பவியல்
Climate - கால நிலை
Cloud Chamber - முகில் அறை
Clock wise - வலஞ்சுழி
Clue - வழி, வழிகாட்டி
Cluster - கூட்டம், திரள்
Coefficient - குணகம்
Cohesion-அண்மைப் பிணைவு
Collide - மோது
Colloids - கூழ்நிலைப் பொருள்கள்
Colloidal - கூழ் நிலையர்ன
Column - வரிசை
Combustion - எரிதல்
Common salt - சோற்றுப்பு, கறியுப்பு
Component - கூறு
Composition - சேர்க்கை விதம்
Compound - கூட்டுப் பொருள்
Comprehensive - விரிவான
Compute - கணக்கிடு
Computation - கணிப்பு, எண்ணுதல்
Concentration - செறிவு
Concept - பொதுமைக் கருத்து

Condensation bonds - திரவமாகச் சுருங்கிய நாண்கள்
Condense - திரவமாகச் சுருங்கு
Condenser - மின் தங்கி
Condenser plate - மின்தங்கித் தட்டு
Conductor - கடத்தி
Connecting link - பிணைக்கும் கண்ணி
Conservation - அழியாமை
Constant - மாறிலி, நிலையெண்
Constituent-பகுதிப்பொருள்
Continuous - தொடர்ந்த
Contour lines - சம உயரக் கோடுகள்
Conversely - மறுதலையாகக் (கூறின்)
Convolusions - சுருள்கள்
Coordinate - தொடர்புபடுத்து
Corono comb-எலும்பாலான சீப்பு
Correction - திருத்தம்
Correspond - ஒத்திரு
Cosmic radiation - அண்டக் கதிர் வீசல்
Coulomb's law-கூலோம்பின் விதி
Covering - மேலுறை
Criterion - அளவை
Crucible - மூசை
Crystal - படிகம்
Crystalloid-படிகப் பொருள்கள்
Cube - கனசதுரம்
Cube root - கனமூலம்
Curuim - குயூரியம்
Current, electric - மின்னோட்டம்
Curve - வளைவரை
Cyclotron-சைக்ளோட்ரான்

D

Daughter substance - சேய்பண்டம்
Daring hypothesis - துணிச்சலான கருதுகோள்
Data - எடுகோள்
Debasement - தாழ்வுறுதல்
Debris - சிதை பொருள்
Decay - சிதைந்தழிதல்
Decay probability - சிதைந்தழிதல் ஏற்படுகை
Deceleration - வேகத் தளர்ச்சி
Deduce - வருவி
Deduction - அனுமானம்
Define - வரையறைப்படுத்து
Deflection - ஒதுக்கம்
Deformation - உருவழிதல்
Degeneration - சீர்கேடுறுதல்
Density - செறிவு, அடர்த்தி
Details - விவரங்கள்
Detect - உற்றறி
Deuterium - ட்யூடெரியம்
Deuteron - ட்யூடெரான்
Develop - துலக்கு
Device - பொறியமைப்பு
Diagonal - மூலைவிட்டம்
Diagnosis - குறையறிதல்
Diagram - விளக்கப்படம்
Dial - கடிகார முகவில்லை
Diameter - விட்டம், குறுக்களவு
Dice - பாய்ச்சிகை

Diffusion - பரவி விரவுதல்
Dimensions - வகையளவுகள்
Dipole - இரட்டைத் துருவம்
Direct current- நேர்மின் னோட்டம்
Disc - வட்டு
Discharge - (மின்) இறக்கம்
Discharge tube - மின் இறக்கக் குழல்
Discovery - கண்டுபிடிப்பு
Discrepancy-பொருந்தாமை
Discrete - தனிப்பட்ட
Disintegration - பிரிந்தழிதல்
Displacement - இடப் பெயர்ச்சி
Disruptive - பிளவுபடுத்தும்
Dissect - சேதி
Divergence - வேறுபாடு
Doctrine - கோட்பாடு
Dots - புள்ளிகள்
Drawing - ஓவியம்
Dynamides - டைனமைட்ஸ்

E

Earth - மண்
Edge - கோடி, முனை
Effect - விளைவு. பயன்
Elasticity - நிலை மீட்பு
Electricity - மின்சாரம்
Electric charge - மின் ஏற்றம்
Electric discharge - மின் இறக்கம்
Electric wave - மின் அலை
Electrochemical equivalent - மின் வேதியியல் சமபல எண்
Electrodynamics - மின்சார இயக்கவியல்
Electrolysis - மின் பகுக்கை
Electromagnetic waves-மின் காந்த அலைகள்
Electrometer - மின்மானி
Electroscope - நிலை மின் காட்டி
Electrostatic force - நிலைமின் விசை
Electrostatic units - நிலைமின் இயல் அலகுகள்
Electrostatics-நிலை மின்இயல்
Electron - எலக்ட்ரான்
Electronic - மின்னியல்
Electron-volt - எலக்ட்ரான் வோல்ட்டு
Electronic charge-மின்னியல் ஏற்றம்
Element - தனிமம், தனிப் பொருள்
Heavy - பளுவான தனிமம்
Light - இலேசான தனிமம்
Elementary quantum of electricity - அடிப்படை மின் ஞற்றல் அணு (குவாண்டம்)
Ellipse - நீளவட்டம்
Emission - வெளிவிடல்
Emit - வெளிவிடு
Emitters - வெளிவிடுபவை
Empirical - அனுபவ பூர்வமான, முற்றுரு, வழக்க முறையான
Empirical points - அனுபவ அளவுகள்
Empyt - ஒன்று மின்மை
Emulsion-எமல்ஷன், குழம்பு
Endothermic - அனல் கொள்
Energy - ஆற்றல்
Kinetic-இயக்க ஆற்றல்,
Potencial-நிலையாற்றல்

Energetics - ஆற்றலியல்
Engineer - பொறியியல் வல்லுநர்
•• Eosinophilic leucocytes - இயோசினோபிலிக் லூக்கோசைட்டுகள்
Equation - சமன்பாடு
Equipment - தளவாடம்
Equivalent-weight - சமபல எடை
Equilibrium - சமநிலை
Era - காலம், ஊழி
Erg - எறுழ், எர்க்
Eruption - பொங்குதல், வெடித் தெறிதல்
Establish - நிறுவு, நிலை நிறுத்து
Evacuate - வெற்றிடமாக்கு
Evaporate - ஆவியா (க்) கு
Exception - விதிவிலக்கு
Exchange - பரிமாற்றம்
Exchange forces - பரிவர்த்தனை விசைகள்
Excitement of energy - ஆற்றலின் கிளர்ச்சி
Existence - இருப்பு
Exothermic - அனல்விடு
Expand - விரிவடையச் செய்
Expansion-பெருக்கம், விரிவு
Experiment - சோதனை, பரிசோதனை
Explosive - வெடி மருந்து
Expression - கோவை
External - புற
External properties - புறப் பண்புகள்.

F

Face value-தோற்ற மதிப்பு,
Fact - மெய்மை, உண்மை
Factor - காரணி, கூறு
Field - மண்டலம், புலம்
Electric - மின்புலம்
Magnetic - காந்தப் புலம்
Filter - வடிகட்டி
Findings - முடிவுகள்
Finite - முடிவுள்ள
First epoch - முதலூழி
Fission-பிளவு, பக்கு விடுதல்
Flexure - வளைந்த நிலை
Foil - மெல்லிய தகடு
Force - விசை
attraction - கவர்ச்சி விசை
repulsion - எதிர்ப்பு விசை
Formula - வாய்பாடு
Formulate - நிர்ணயப்படுத்திக் கூறு
Fragments - துண்டங்கள், சில்லுகள்
Francium - பிரான்சியம்
Frequency - அலைவெண்
Friction - உராய்வு, பிணர்வு
Internal - அக-உராய்வு
Fruit-flics - பழ-ஈக்கள்
Full - முழுமை
Function-சார்பலன், செயல்
Fundamental - அடிப்படையான

G

Gases - வாயுக்கள்
Gas mask - வாயு மூடி
Gels - களிநிலைப் பொருள்கள்
Gelatine - ஊன்பசை
Generator - (மின்) ஆக்கி
Geometry - வடிவகணிதம்
Globe - கோளம்
Globular structure - கோள

அமைப்பு
Glow - ஒளிர்தல்
Gold - பொன்
Grains - நுண் பொடிகள்
Gramme-atom-கிராம் அணு
Graph - கோட்டுப் படம்
Graphite - பென்சில்கரி
Greek philosopher - யவன மெய்ப் பொருளியல் அறிஞர்
Ground state - அசையாநிலை
Groups - தொகுதிகள்

H

Half-life - அரை-வாழ்வு
Halogens - உப்பீனிகள்
Hangar - விமானம் நிறுத்தும் இடம்
Harmony - கூட்டிசை, ஒத்திசை
Hate - பகைமை
Heat - வெப்பம்
Heavy meson - பளுவான எதிர் இயல் மின்னி
Helium - பரிதியம்
History - வரலாறு
Hollow - உட்குழிவுள்ள
Homogeneous - ஒரு படித்தான
Horizontal - கிடை,
Horizontal line - கிடைக் கோடு
Hurl - வீசியெறி
Hydrocarbon - ஹைட்ரோக் கார்பன்
Hydrogen nucleus - ஹைட்ரஜன் அணுக்கரு
Hypotenuse - செம்பக்கம்
Hypothesis - கருதுகோள்

I

Icosahedran - இருபது சம முகக் கட்டி
Identify - ஒற்றுமைப்படுத்து
Illinium - இல்லினியம்
Illustration - படம்
Image - பிம்பம்
Impact - தாக்குதல்
Impinge - தாக்கு, மேல்விழு
Impulse - கணச் செயல், உட்துடிப்பு
Inactive - மந்த
Incandescent - வெண்தழலுடைய
Indeterminate-தேரப்பெறாத
Induce - தூண்டு
Inert gases - சடவாயுக்கள்
Inference - அனுமானம், ஊகம்
Infinite - எண்ணற்ற
Infinitesimal - மிகச் சிறிய
Influence machine - செல்வாக்கு இயந்திரம்
Instalation - அமைத்தல், நிறுவுதல்
Intergral - முழு
Integral multiple - முழு எண் மடங்கு
Intensity - தீவிரம், அழுத்தம், உறைப்பு
Interaction - பரஸ்பரத் தாக்குதல்
Interchange - பரிமாற்றம்
Interest - அக்கறை
Interference - தலையீடு, எதிர்த்தழித்தல்
Intersteller - இடையிலுள்ள இடைவெளி (நட்சத்திரம்)
Inverted triangle - கவிழ்ந்த

முக்கோணம்
Investigate - கண்டறி, ஆராய்
Investigators-ஆய்வாளர்கள்
Ion - அயனி, அயான்
Ionization chamber - அயனி உண்டாகும் அறை
Isobar - ஐசோபார்
Isotope - ஐசோடோப்பு
non-stable - நிலையற்ற ஐசோடோப்பு
stable - நிலையான ஐசோடோப்பு

K

Kilowatt hours-கிலோவாட் மணிகள்
Kinetic energy-இயக்க ஆற்றல்
,, theory - இயக்கக் கொள்கை
Kinematics-இயக்க நூல்
Knowledge-அறிவு
Krypton-கிரிப்டான், மறைந்தான்

L

Label-குறி
Labelled-குறியிட்ட
Laboratory-சோதனைக் கூடம்
Latent-உள்ளடங்கிய
Lattice-பின்னல்
Law-விதி
,, of Conservation of electric charges-மின்னூட்டம் அழியா விதி
,, of conservation of energy - ஆற்றல் அழியா விதி
,, of conservation of mass-பொருண்மை அழியா விதி
,, of constant proportions-நிறை வீதம் மாறா விதி
,, of multiple proportions-மடங்கு வீத விதி
Lead-வழி காட்டு
Leader-தலைவர் (வழிகாட்டுபவர்)
Lecture-சொற்பொழிவு
Letter-எழுத்து
Leucaemia-லூக்கேமியா
Liberate-விடுவி
Life-வாழ்வு
Lighter elements-இலேசான தனிமங்கள்
Linear-ஒருபடிச் சார்பில்
Linear relationship-ஒருபடி உறவு முறை
Litre-லிட்டர்
Local separation-உள்ளிடப் பிரிவு
Lagarithm-மடக்கை, லாகரிதம்
Loud speaker-ஒலிபெருக்கி
Love- அன்பு
Luminiscent-ஒளிர்விடும்
Lymphocytes - லிம்போசைட்டுகள்

M

Magnet-காந்தம்
Magnetic field-காந்தப்புலம்
Magnification-உருப் பெருக்கம்

Magnitude-அளவு
Map-படம்
Mass-பொருண்மை
Mass defect-பொருண்மைக் குறை
Mass Number-பொருண்மை எண்
Mass spectrograph-பொருண்மை நிற மாலை வரைவான்
Mass unit - பொருண்மைத் தனியன்
Masurium-மசூரியம்
Materialism-உலகாயதம்
Matrix-அச்சுக்கரு
Matter - சடப் பொருள், பொருள்
Maximum-மீப்பெரிது
Measurement-அளவு
Mechanical-பொறி தொடர்புள்ள
Mechanics - பொறித் நுட்பவியல்
Mercury-பாதரசம்
Meson-மேசான்
Metabolism - வளர்சிதை மாற்றம்
Metalicform-உலோக வடிவு
Mica-மைக்கா, அபிரகம்
Microscope-நுண் பெருக்கி
Million-ஆயிரமாயிரம், பத்து இலட்சம்
Minimum-மீச்சிறிது
Mirror-ஆடி
Mixture-கலவை
Model-மாதிரிக் கோலம்
Moderator-தணிப்பான்
Modify-திருத்தியமை
Mole-மோல்
Molecular weight-அணுத் திரளை-எடை
Molecule - மூலக்கூறு, கூட்டணு
Moment-திருப்புதிறன்
Momentum - மோதப்பாடு, [பொருண்மை வேகம்]
Monocytes - மாஞேசைட்டுகள்
Moon-நிலவு, சந்திரன்
Mote-சிறு துகள்
Motion-இயக்கம்
Movable piston-இயங்கும் ஊடியங்கி
Movement-இயக்கம்
Multiple-மடங்கு, மடங்கி
Mutation-சடுதி மாற்றம்
Mysticism-சமயபோதம்
Myth-கட்டுக்கதை

N

Nature-இயற்கை
Natural logarithm-இயற்கை மடக்கை
Negative-எதிரான
Negative quantity-எதிரான அளவு
Neglect-புறக்கணி
Neptunium-நெப்டூனியம்
Net result-நிகர முடிவு
Neutral - நடுநிலையான, இடைப்பட்ட
Neutrino-நியூட்ரிஞே
Neutron-நியூட்ரான்
Nitrogen-நைட்ரொஜென்
Node-அதிர்வில்-இடம்
Nothing-சூனியம்
Nucleanics-நியூக்ளியாணிக்ஸ்
Nuclear charge-உட்கரு மின்னேற்றம்

Nuclear fleld-உட்கரு புலம்
Nuclear magneton-உட்கரு மேக்னெட்டான்
Nuclear matter-அணுக்கருப் பொருள்
Nuclear physics-அணுக்கரு பௌதிகம்
Nucleus-உட்கரு, அணுக்கரு
helium-ஹீலிய உட்கரு
hydrogen-ஹைடிரஜன் உட்கரு
Nuclei-அணுக்கருக்கள், உட்கருக்கள்
Numerical value-எண்ணுகிய மதிப்பு

O

Observation-உற்றுநோக்கல், நுண்காட்சி
Octahedran-எண்முகக் கட்டி
Opposed-முரணுன
Optics-ஒளியியல்
Orbit-அயனப் பாதை
Ordinate-குத்தாயம்
Organ-உள்ளுறுப்பு
Organism-உயிரி
Origin-மூலம்
Oscillatory, அலைவியற்று
Output-உற்பத்தி, வெளிப்பாடு
Overall view-முழுதும் தழுவிய பார்வை
Overtone-மிகுசுரம்
Oxygen-தீயகம், ஆக்ஸிஜன்

P

Pair-இணை
Parallel-இணையான
Parent substance - தாய் பொருள்
Particle-துகள்
π-பை-துகள்
Partner-பங்காளி
Pattern-கோலம்
Peak voltage - உன்னத வோல்ட்டு அளவு
Peculiar-நூதமான, தனிப் போக்கான
Penetrate - ஊடுருவிச் செல், நுழை
Penultimate-ஈற்றயலான
Perception - காட்சியுணர்வு, சிறப்புணர்வு
Period-பொழுது
Periodicity-தவணை முறை
Periodic system-ஆவர்த்தன அமைப்பு
Periodic table - ஆவர்த்த அட்டவணை
Peroxide-பெர் ஆக்ஸைடு
Perpendicular-செங்குத்தான
Phenomenon - நிகழ்ச்சி, தோற்றப்பாடு
Philosopher - மெய்ப் பொருளியல் அறிஞர்
Philosophy - மெய்ப்பொருளியல்
Photon - ஃபோட்டான், ஒளியணு
Photograph-ஒளிப்படம்
Physics-பௌதிக இயல்
Physicist-பௌதிக அறிஞர்
Phraseology-சொல் முறை, சொல் அமைதி
Piston-உந்து தண்டு
Plane-தளம்
Plant-பொறி
Pointer-குறிமுள், காட்டி

Polarity-துருவத்துவம்
Policy-நோக்கமுறை, நடைமுறை
Polymorpho nuclear leucocytes-பாலிமார்போ லூக்கெசைட்டுகள்
Position-நிலை
Positive charge-நேர் மின் ஏற்றம்
Positive ions-நேர் அயனிகள்
Possible-சாத்தியமான
Positron-பாசிட்ரான்
Postulate-ஒப்புக் கோள்
Pottassium-பொட்டாசியம்
Potential Barrier - மின் அழுத்த அரண்
Potential drop-மின் அழுத்த வீழ்ச்சி
Potential difference - மின் அழுத்த வேறுபாடு
Potential energy-நிலையாற்றல்
Power-திறன், மின்னாற்றல், அமுக்கு, படி
Practical-செய்முறை
Precursor-முன்னோடி
Pressure-அமுக்கம்
Primary-முதல் நிலை
Prime- ஆதியான
Primordial- ஆதியான
Principle-விதி
Prism-பட்டகம்
,, Trangular-முக்கோணப் பட்டையுருட்டு
Probability-ஏற்பநிலை
Probability value-ஏற்பு மதிப்பு
Process-செய்முறை, செயல்
Procedures-வினை முறைகள், செயல் முறைகள்
Product - விளைப் பொருள், பெருக்கற்பலன்
Progress-முன்னேற்றம்
Projectile-எறி பொருள்
Pronounced - எடுப்பான, எளிதில் புலப்படக்கூடிய
Proof-மெய்ப்பிப்பு, தெரிப்பு
Property-பண்பு
Proportion-விகித சமம்
Proportional-விகிதசமமுள்ள
Proportional region-விகிதப் பொருத்த மண்டலம்
Proportionality factor-விகித சம மாறிலிக்காரணி
Proton-புரோட்டான்
Provoke-கிளர்ந்தெழச் செய்
Pulley-கப்பி
Puzzle-புதிர்

Q

Quadrillion - மில்லியனின் நான்கடுக்கு
Qualitatime-பண்பறி •
Quality-பண்பு
Quantitatime" analysis-அளவறி பகுப்பு
Quantum mechanics-குவாண்டம் பொறி
Quantum theory-நுட்ப இயல் குவாண்டம் கொள்கை
Quartion-வினா, பிரச்சினை

R

Radiate-கதிர்களை விடு, கதிர் வீசு
Radiation-கதிர்வீச்சு
Radio activity-கதிரியக்கம்
Radioactive radiation-கதிரியக்கக் கதிர்வீச்சு

,, series - கதிரியக்கக் கோவை
Radio-வானொலி
Radioactive substances-கதிரியக்கப் பண்டங்கள்
Radium-ரேடியம்
Radius-ஆரம்
Range-வீச்சு, வரிசை
Rare earths-அருமண்கள்
Ratio-விகிதம்
Rays-கதிர்கள்
Reaction-எதிர்வினை, எதிரியக்கம்
Reactor-அணுஉலை, ரீயாக்டர்
Rear-பின்பக்க
Reciprocal-மாறுபட்ட, தலைகீழான, முறை மாறலாக
Recoil-எதிர் இயக்கம், பின் உதைப்பு
Rectifier-சீராக்கி, திருத்தி
Reduction-தீயக இறக்கம், ஆக்ஸிஜன் குறைப்பு
Reflection-ஒளித்திருப்பம்
Total-முழு ஒளித் திருப்பம்
Refraction-விலகல்
Refractive substance-விலகல் பொருள்
Relative-சார்புள்ள
Relativity, theory of-சார்புக் கொள்கை
Repel - விலக்கு, ஒதுக்கித் தள்ளு
Represent-விளக்கிக்காட்டு
Report-அறிக்கை
Repulsion, Force of-விலக்கு விசை
Residue-எச்சம்
Resolving power-பகுப்பாற்றல்
Resolving region - பிரிநிலை மண்டலம்
Resonance-அநுநாதம், நாதக் கட்டு
Rest mass-நிலைப் பொருண்மை
Revolution-சுற்று
Right angle-செங்கோணம்
Ring-வளையம்
Rock salt-இந்துப்பு
Rotation-சுழற்சி
Rubber-இரப்பர்
Rubidium-ருபிடியம்
Rule-விதி

S

Sap-மரச்சாறு
Saturated - தெவிட்டு நிலையிலுள்ள
super - அதி தெவிட்டு நிலையிலுள்ள
Saturation-நிறைவு, தெவிட்டு நிலை
Scales-அளவுத் திட்டங்கள்
Scene-களம், காட்சி
Schematic-அமைப்பு முறையுள்ள
Science-அறிவியல்
,, natural-இயற்கை அறிவியல்
,, physical-பௌதிகஅறிவியல்
Scintillation method-மின்பொலி முறை
Second-வினாடி
Secondary-இடை நிலை
Sentry-காவற்காரன்
Shape-வடிவம்

Shell-கூடு
Silver-வெள்ளி
Size-பருமன், பரிமாணம்
Sketch-சுருக்கப்படம்
Slugs - உருண்டை வடிவத் துண்டுகள்
Snapshot-நொடிப்படம்
Sodium chloride-சோடியம் குளோரைடு
Soil-புலம்
Solid-திண்பொருள்
Source-மூலம்
Space-வெளி
Spark-பொறி
Species-இனம்
Spectra-நிறமாலைகள்
Spectroscope - நிற மாலை காட்டி
Spectrum-நிறமாலை
Speed-வேகம்
Sphere-கோளம்
Spin-(தற்) சுழற்சி
Spinning top - சுழன்று கொண்டிருக்கும் பம்பரம்
Spiral orbit-நீள் சுருள் அயன வீதி
Splinters-சிராய்கள்
Spring - வில், இளவேனிற் காலம்
Square - மடக்கெண் (வர்க்கம்)
Stability-நிலைப்புடைமை
Standard-தரமான
Standard measure-தரமான அளவு
Star-விண்மீன்
Statement-சாற்றுரை
Stationary state - அமைதியான நிலை
Statistical-புள்ளி விவரஇயல் பற்றிய
Step-அடி, படி
Strontium-ஸ்ரான்ஷியம்
String-நரம்பு (இசைக்கருவி)
Strip-துண்டு
Structure-அமைப்பு
Study-ஆராய்ச்சி
Substance-பொருள்
Substitute - ஈடாக்கு, ஈடு செய், பதிலிடு
Sulphur-கந்தகம்
Sun-கதிரவன், சூரியன்
Sun beam-கதிரவன் ஒளிக் கற்றை
Supersaturation- அதி தெவிட்டு நிலை
Surface-புறப்பரப்பு
Symmeterical-சமச் சீருடைய
Symbol-குறியீடு
System-திட்டம், அமைப்பு

T

Table-அட்டவணை
Tag-தொகுப்பு
Teachings-அருள்வாக்குகள்
Technetium-டெக்னீஷியம்
Technical - தொழில் துறை சார்ந்த
Technical skill - தொழில் நுணுக்கத் திறன்
Technique-துறை நுணுக்க முறை
Temperature-வெப்ப நிலை
Tendency-போக்கு
Tension-இழுவிசை
Tentative-சோதனை நிலையிலுள்ள
Terminal-கோடி மின்துருவம்
Terminology-துறைச் சொற்

வருகுதி
Tetrahedran - நான்கு சம முகக் கட்டி
Theory-கொள்கை
,, of gases-வாயுக் கொள்கை
Theoretical analysis-ஏட்டு பகுப்பு முறை
Thermal energy - வெப்ப ஆற்றல்
Thermal movement-வெப்ப இயக்கம்
Thermal velocity – வெப்ப நேர் வேகம்
Thermometer-வெப்பமானி
Thick-தடித்த
Thyratron-தைராட்ரான்
Tin-வெள்ளீயம்
Tone-தொனி, குரல்
Tool-கருவி
Total reflection - பூர்ணப் பிரதிபலனம்
Traces-சாயைகள்
Tracer-உளவு காட்டு வழி-துலக்கி
Transformer - மாற்றி
Transmutation-உருமாற்றம்
Transparent-ஒளி புகும்
Tumour-கட்டி, கழலை
Tunnel-குடை வழி
Tunnel effect - குடை வழி விளைவு

U

Ultra violet light-அல்ட்ரா வைலெட் ஒளி
Uncertainty principle-உறுதிப்பாடின்மை விதி
Unit-அலகு
Univalent-ஒற்றை அணுமுக
Universe-அகிலம்
Upright triangle - நிமிர்ந்த முக்கோணம்
Uranium pile - யுரேனிய அடுக்கு

V

Valancy-(அணு) வலுவெண்
Value-மதிப்பு
Velocity-நேர் வேகம்
Verify-சரிபார்
Vessel-கலம்
Vibrate-அசை
Vibration-அதிர்வு, துடிப்பு
Views-நோக்கங்கள்
Visible-கட்புலனாகும்
Void-வெட்ட வெளி
Voltage - மின் அழுத்தம், வோல்ட்டு அளவு
Volume-பருமனளவு

W

Wave length-அலை நீளம்
Wave mechanics-அலையியல்
Wave particle duality-அலைத் துணுக்கு இருமை
Winding-சுற்றுக்கள்
Winter-குளிர்காலம்

X

X-rays-எக்ஸ் கதிர்கள்

Z

Zenon-ஜெனன் (அயலான்)
Zero-point-சூச்சிய நிலை

பின்னிணைப்பு-4

பொருட் குறிப்பு அகராதி

அ

பிழை - திருத்தம்

பக்கம்	வரி	பிழை	திருத்தம்
22	5	O^2	O_2
28	15	நிறுவியுள்ளது	நிறுவியுள்ளது.
37	2	கதிர்வீச்சு விதி	கதிர்வீசல் விதி
41	25	பெருமான	பெருமான்
53	5	கதிர்வீச்சுக்கு*	கதிர்வீசலுக்கு
58	21	வாக்கம்	வர்க்கம்
63	1	மெண்டலீப்	மெண்டலீஃப்
73	24	$N_0e_^{yt}$	N_0e^{-yt}
81	1	அணுக்கரு மாற்றங்கள்	அணுக்கரு உருமாற்றங்கள்
83	1	எதிர்வினைகளை	இயக்கங்களை
,,	3	எதிர்வினையின்	இயக்கத்தின்
,,	,,	$^7N^{14}$, ,$^2He^4$ $^1H^1$	$_7N^{14}$, $_2He^4$, $_1H^1$
86	18	தற்சுழற்கி	தற்சுழற்சி
94	11	அசைவுகளில்	அதிர்வுகளில்
99	6	நியூட்ரரனையும்	நியூட்ரானையும்
105	25	இயங்கலல்லது	இயங்கவல்லது
106	4	யிணைப்பாற்ற ல்	பிணைப்பாற்றல்
108	8	அறுதிடல்	அறுதியிடல்
111	12	அலை-எண் ν	அதிர்வு-எண் ν
115	4	$\frac{\|E\|}{-C^2}$	$-\frac{\|E\|}{C^2}$
,,	9	ஆணுக்கருவின்	அணுக்கருவின்

*இந்நூலில் 'கதிர்வீச்சு' என வரும் இடங்களிலெல்லாம் 'கதிர்வீசல்' எனத் திருத்திக்கொள்க.

பக்கம்	வரி	பிழை	திருத்தம்
131	6	C(N+Z)2/3	$C(N+Z)^{2/3}$
132	11-12	γ_0(N+Z)1/3	$r_0(N+Z)^{1/3}$
132	19	(N+Z)4/3 γ_0	$(N+Z)^{4/3}\gamma_0$
132	26	(N+Z)1/3	$(N+Z)^{1/3}$
,,	26	(N+Z) 4/3γ_0	$(N+Z)^{4/3}\gamma_0$
146	18	பாரபின்	பாரஃபின்
152	18	பூச்சியநிலை அசைவு	பூச்சியநிலை அதிர்வு
196	30	இருத்தல்	இருத்துதல்
201	28	$_1e^0$	$_{-1}e^0$
203	24	எலக்ரான்	எலக்ட்ரான்
,,	25	அட்கருவாக	அணுக்கருவாக
216	1	அணுக்கருமாற்றம்	அணுக்கரு உருமாற்றம்
217	20	ஹீலியமா	ஹீலியமாக
224	3	பீட்டாரத்துகள்	பீட்டாத்துகள்
231	16	இகுந்தால்	இருந்தால்
235	11	வெணிப்பாட்டினை	வெளிப்பாட்டினை
237	11	கிரைனேஷர்சுற்று	கிரைநாச்சர் சுற்று
238	22	கிறிதளவு	சிறிதளவு
239	17	வான்டிகிராஃ	வான்டிகிராஃப்
240	3	Sphera	Sphere
260	21	தொழிற்முறையில்	தொழில் முறையில்

இல்லறநெறி

(தமிழ்ப் புத்தகாலய வெளியீடு)

இல்லறத்தில் புகும் நம்பி நங்கையருக்கு இன்றியமையாத நூல். அறிவியல் அடிப்படையில் ஐம்பது கடிதங்களில் பல்வேறு பிரச்சினைகள் ஆராயப்பெற்றுள்ளன. 55 படங்கள் பல அறிவியல் கருத்துக்களை விளக்கி நிற்கின்றன. இந்தியக் கல்வித் துணையமைச்சர் டாக்டர் செளந்திரம் இராமச்சந்திரன் அவர்களின் முன்னுரை நூலினை அணி செய்கின்றது.

600 பக்கங்கள்; உறுதியான கட்டமைப்பு

விலை ரூ. 10.00

கருத்துரைகள்

"பேராசிரியர் ந. சுப்பு ரெட்டியார் புத்தக உலகத்திற்குப் புதியவர் அல்லர். அவர் பல விஞ்ஞான நூல்களை எழுதியுள்ளார். அவருடைய இந்த முயற்சி தமிழ் மக்களுக்கு, அதுவும் இளம் தம்பதிகட்கு, உபயோகமாயிருக்கும் என்பதில் ஐயமில்லை."

—டாக்டர் செளந்திரம் இராமச்சந்திரன்
(முன்னுரையில்)

''இல்லற நெறி ஒரு நல்ல நூல்; அருமையான, தரமான நூல். விரசமோ காம விகாரமோ ஏற்படாத முறையில் ஆக்கியிருக்கிறார் பேராசிரியர் ந. சுப்பு ரெட்டியார். ஆங்கில மொழியறிவும், விஞ்ஞானப் புலமையும், பன்னூற் பயிற்சியும் தமிழ்ப் பேராசிரியர்க்கு இந்நூலைச் செம்மையாகச் செய்தளிக்கக் கைகொடுத்து உதவியுள்ளன.''

சா. கணேசன்
(கம்பன் கழகம், காரைக்குடி)

* * *

''புதிதாக மணம் செய்துகொள்ளும் மக்களுக்கு உடற்கூறு தெரிவது மிகவும் அவசியம். அதற்கு உதவும் பொருட்டு இயற்றப்பெற்றுள்ள இந்நூல் 'வேலனுக்கு வேங்கடத்தான் எழுதும் கடிதங்களாக' அமைந்துள்ளது. இல்லறநெறியைப் பல கோணங்களிலிருந்தும் விளக்கியிருக்கிறார் இந் நூலாசிரியர்.''

—சுதேசமித்திரன், 18-2-1965)

*

பேராசிரியர் ரெட்டியார் அவர்களின் மற்ற நூல்கள்

ஆசிரியம்:

தமிழ் பயிற்றும் முறை	10-00
அறிவியல் பயிற்றும் முறை	6-00
கல்வி உளவியல்	6-00
யுனெஸ்கோ: அறிவியல் பற்றும் முதல் மூலநூல்	(அச்சில்)

இலக்கியம்:

கவிஞன் உள்ளம்	2-50
கலிங்கத்துப் பரணி ஆராய்ச்சி	2-50
காலமும் கவிஞர்களும்	2-50
காதல் ஓவியங்கள்	2-50
அறிவுக்கு விருந்து	2-50
முத்தொள்ளாயிர விளக்கம்*	7-00
அறிவியல் விருந்து	(அச்சில்)

திறனாய்வு:

கவிதையனுபவம்	10-00
தொல்காப்பியம் காட்டும் வாழ்க்கை	9-00

அறிவியல்:

மானிட உடல்	5-00
அணுவின் ஆக்கம்	8-00
இளைஞர் வானொலி	2-00
இராக்கெட்டுகள்	2-50
அதிசய மின்னணு	2-00
இல்லறநெறி	10-00
நமது உடல்	2-50
வாழையடி வாழை	(அச்சில்)
இளைஞர் தொலைக் காட்சி	,,

---

*திருப்பதி திருவேங்கடவன் பல்கலைக் கழக வெளியீடு